

Magnus Pfitzner

Vergleichende Untersuchung biegesteifer und gelenkiger Anschlüsse im
Normenvergleich DIN 18800 und EC 3

Bachelorarbeit

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Maschinenbau/Feinwerktechnik

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Torsten Laufs
Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Wolfram Lohse

Kierspe, Dezember 2011

Inhaltsverzeichnis

I. Bibliografische Beschreibung.....	3
II. Referat.....	3
1. Einführung.....	4
1.1 Einleitung.....	4
1.2 Aufbau.....	4
1.3 Abgrenzung.....	4
1.4 Zielsetzung.....	5
2.Theoretische Grundlagen.....	6
2.1 Grundlagen Anschlüsse.....	6
2.1.1 Anschlussmodelle im Vergleich.....	6
2.1.2 Verformbare/Teiltragfähige Verbindungen.....	7
2.1.3 Gelenkige Anschlüsse.....	13
2.1.3.1 Träger-Stützen-Verbindungen	14
2.1.3.2 Träger-Träger-Verbindungen.....	15
2.1.4 Konstruktionsvarianten gelenkiger Anschlüsse.....	16
2.1.4.1 Stirnplattenanschluss.....	16
2.1.4.2 Doppelwinkelanschluss.....	18
2.1.4.3 Knaggenanschluss.....	19
2.1.4.4 Fahnblechanschluss.....	20
2.1.5 Vergleich der Konstruktionsvarianten gelenkiger Anschlüsse.....	21
2.1.6 Biegesteife Anschlüsse.....	22
2.2 Grundlagen der Nachweisführung.....	25
2.2.1 Querschnittsklassifizierung.....	25
2.2.1.1 Ermittlung der Querschnittsklasse DIN EN 1993.....	26
2.2.1.2 Ermittlung der b/t-Verhältnisse DIN 18800.....	27
2.2.2 Gegenüberstellung der Nachweise des Grundwerkstoffs DIN EN 1993 und DIN 18800.....	30
2.2.2.1 Nachweis des Grundwerkstoffs DIN EN 1993.....	30
2.2.2.2 Nachweis des Grundwerkstoffs DIN 18800.....	35
2.2.3 Gegenüberstellung der Nachweise von Schweißverbindungen DIN EN 1993 und DIN 18800	37
2.2.3.1 Schweißnahtgeometrien im Vergleich.....	37
2.2.3.2 Nachweis von Schweißverbindungen nach DIN EN 1993.....	39
2.2.3.3 Nachweis von Schweißverbindungen nach DIN 18800	41
2.2.4 Gegenüberstellung der Nachweise von Schraubenverbindung DIN EN 1993 und DIN 18800.....	44
2.2.4.1 Wirkungsweise Schraubenverbindungen.....	45
2.2.4.2 Schraubennachweis nach DIN EN 1993.....	46
2.2.4.3 Schraubennachweis nach DIN 18800.....	51
2.2.5 Ermittlung von Schraubenkräften für Schraubengruppen.....	56
2.2.5.1 Ip- Verfahren[(16) Seite 6/42 , 6/43].....	57
2.2.5.2 f-Verfahren [(16) Seite 6/44].....	58
2.2.6 Nachweis auf Blockversagen von Schraubengruppen nach DIN EN 1993.....	59
2.2.7 Gegenüberstellung der Nachweise der Lasteinleitung in Trägerenden DIN EN 1993 und DIN 18800.....	60
2.2.7.1 Lasteinleitung nach DIN 18800-1 Element 744.....	61
2.2.7.2 Lasteinleitung nach DIN EN 1993-1-5	63

2.2.8 Gegenüberstellung der Nachweise ausgeklinkter Träger	
DIN EN 1993 und DIN 18800	65
2.2.8.2 Nachweis oben ausgeklinkter Trägerprofile.....	66
2.2.8.2 Nachweis beidseitig ausgeklinkter Trägerprofile.....	68
3. Ablaufdiagrammen für die Berechnung gelenkiger Anschlüsse.....	69
3.1 Stirnplattenanschluss nach DIN EN 1993.....	70
3.2 Stirnplattenanschluss nach DIN 18800.....	72
3.3 Fahnablechanschluss nach DIN EN 1993.....	74
3.4 Fahnablechanschluss nach DIN 18800.....	76
3.5 Doppelwinkelanschluss nach DIN EN 1993.....	78
3.6 Doppelwinkelanschluss nach DIN 18800.....	80
3.7 Knaggenanschluss DIN EN 1993.....	82
3.8 Knaggenanschluss nach DIN 18800.....	83
4. Beispielrechnung gelenkiger Anschlüsse.....	84
4.1 Stirnplattenanschluss nach DIN EN 1993.....	84
4.2 Nachweis der Stirnplattenverbindung nach DIN 18800.....	90
4.3 Fahnablechanschluss mit starrer Anschlussfläche nach DIN EN 1993.....	95
4.4 Fahnablechanschluss mit starrer Anschlussfläche nach DIN 18800	101
4.5 Doppelwinkelanschluss mit bündiger Oberkante nach DIN EN 1993.....	106
4.6 Doppelwinkelanschluss mit bündiger Oberkante nach DIN 18800.....	114
4.7 Knaggenanschluss nach DIN EN 1993	121
4.8 Knaggenanschluss nach DIN 18800	125
5. Beispielberechnung biegesteifer Anschlüsse.....	129
5.1 Biegesteife Laschenverbindung nach DIN EN 1993	129
5.2 Biegesteife Laschenverbindung DIN 18800.....	137
6. Vergleichsberechnungen.....	145
6.1 Knaggenanschluss	145
6.2 Fahnablechanschluss.....	147
6.3 Stirnplattenanschluss.....	148
6.4 Doppelwinkelanschluss	153
7. Auswertung.....	155
8. Fazit und Ausblick.....	156
Abbildungsverzeichnis.....	157
Tabellenverzeichnis.....	159
Literaturverzeichnis.....	161
Ehrenwörtliche Erklärung.....	163
Anhang.....	
Tabellen	

I. Bibliografische Beschreibung

Vergleichende Untersuchung biegesteifer und gelenkiger Anschlüsse im Normenvergleich DIN 18800 und EC 3 / Comparative study of articulated und rigid connections, at selected examples in the standard comparative DIN 18800 and EC 3 – 2011 – 163 Seiten
Mittweida, Hochschule Mittweida, Fachbereich Maschinenbau/Feinwerktechnik, Bachelorarbeit 2011

II. Referat

Diese Bachelorarbeit hat zum Ziel, Unterschiede in der Berechnung biegesteifer und gelenkiger Anschlüsse im Normenvergleich DIN 18800 und DIN EN 1993 (Eurocode/EC3) detailliert darzustellen. Direkte Gegenüberstellungen der Nachweise und beispielhafte Anschlussberechnungen können grundlegend zum Nachweis und zur Konstruktion von Stahlbauanschlüssen genutzt werden. Durch Vergleichsberechnungen sollen normenabhängige Auslastungsunterschiede für Anschlüsse und Einzelnachweise aufgezeigt werden.

1. Einführung

1.1 Einleitung

Aufgrund der Umstellung der national gültigen Stahlbaunorm DIN 18800 auf das europaweit zu verwendende Regelwerk DIN EN 1993 wird sowohl ein Umdenken bei der Berechnung als auch der Konstruktion von Stahlbauten erfolgen. Ziel der europaweit gültigen Normung ist es, Handelshemmnisse zu beseitigen und bestehende bautechnische Normen auf einen einheitlichen Stand zu bringen (Harmonisierung). Die Tatsache, dass unterschiedliche neue Einflüsse, aus anderen europäischen Ländern bei der Erstellung der Eurocodes eingewirkt haben, macht die altbekannten und verinnerlichten Rechenschritte teilweise ungültig. Der Stichtag, der mit dem 1. Juli 2012 als verbindliches Datum zur Einführung der neuen europaweit gültigen Normung festgelegt ist, stellt einen Wendepunkt für das Bauwesen im allgemeinen dar. Voraussichtlich wird die Einführung des Eurocodes in 29 europäischen Ländern durchgesetzt. Für die Tragwerksplanung im Bereich des Stahlbaus wird der Eurocode 3 (DIN EN 1993) als Stand der Technik für Berechnung, Bemessung und Konstruktion verbindlich.

1.2 Aufbau

Diese Bachelorarbeit gliedert sich in drei Teile. Im ersten Teil sollen die grundlegenden Betrachtungen für Anschlusskonstruktionen im Stahlbau vermittelt werden. Weiterhin werden erforderliche Nachweise für Verbindungsmittel und den Grundwerkstoff normenspezifisch erläutert und gegenübergestellt. Der zweite Teil der Bachelorarbeit befasst sich mit Beispielberechnungen ausgewählter Anschlüsse. Für die Berechnungen sind jeweils allgemeine Ablaufalgorithmen erstellt worden. Der letzte Teil der Bachelorarbeit ist eine Darstellung der Berechnungsergebnisse für gelenkige Anschlüsse, die mit unterschiedlichen IPE Profilen ausgeführt wurden. Aus den Ergebnissen der Berechnungen sind Tabellen und grafische Darstellungen erstellt worden, die normenspezifische Auslastungsunterschiede vermitteln sollen.

1.3 Abgrenzung

In der Bachelorarbeit werden Vergleichsberechnungen für gelenkige Anschlüsse unter Querkraftbeanspruchung im Normenvergleich erläutert. Weiterhin wird die Berechnung eines biegesteifen Laschenstoß dargestellt und Neuerungen im Nachweiskonzept beleuchtet. Die Werkstoffauswahl beschränkt sich auf die Stahlsorte S 235.

Schraubenverbindungen werden auf die Kategorie A, SL- Verbindungen eingegrenzt. Die untersuchten Ausführungsvariante der gelenkigen Anschlüsse werden auf den Stirnplattenanschluss mit kurzer Stirnplatte, ohne die Berücksichtigung von Zusatzbeanspruchungen aus Zuglasten eingegrenzt. Der Fahnablechanschluss wird für die Ausführung mit starre Anschlussfläche und einreihigem Schraubenbild untersucht. Doppelwinkelanschlüsse werden in den Vergleichsrechnungen auf Konstruktionen mit einreihigen Schraubenbildern eingeschränkt. Knaggenanschlüsse werden ausschließlich auf die Ausführung ohne Aussteifungsrippen begrenzt.

1.4 Zielsetzung

Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Darstellung und Beschreibung von spezifischen Veränderungen in der Nachweisführung biegesteifer und gelenkiger Anschlüsse im Stahlbau. Durch vergleichende Berechnungen unterschiedlicher Anschlüsse soll aufgezeigt werden, welche Auswirkungen die verwendeten Stahlbaunormen auf die Ausnutzung von Querschnitten und Verbindungen haben. Die Gegenüberstellung der Nachweisführungen und die Erstellung von Ablaufdiagrammen sollen eine gezielte Übersicht über Neuerungen in den Berechnungen und Veränderungen der Formelzeichenschaffen schaffen. Durch Vergleichsrechnungen sollen sowohl allgemeine Aussagen über die Unterschiede der Tragfähigkeiten der Anschlüsse getroffen werden, als auch über die Unterschiede in der Ausnutzung einzelner Nachweise.

2.Theoretische Grundlagen

2.1 Grundlagen Anschlüsse

2.1.1 Anschlussmodelle im Vergleich

Für die Planung und Berechnung von Stahlbauten ist die Wahl des statischen Anschlussmodells einer Verbindung festzulegen. Die statischen Modelle die bisher im Stahlbau für Anschlüsse konstruiert wurden haben Verformungen, die bei Belastung der Verbindungen auftreten, nicht berücksichtigt. In DIN 18800 wurde eine gelenkige Verbindung ohne Weiterleitung von Momenten und eine biegesteife Verbindung (unverformbar) mit voller Momententragfähigkeit angenommen. DIN EN 1993 unterscheidet, im Gegensatz dazu, basierend auf Forschungsergebnissen ein differenziertes System zur Einteilung der Anschlüsse nach Steifigkeiten beziehungsweise Tragfähigkeiten: „Der EC3 ermöglicht es, nach umfangreicher Forschungstätigkeit in den letzten 20 Jahren das Verformungsverhalten des Anschlusses in der Tragwerksplanung zu berücksichtigen.“[(7) S.185]. Drei Arten von vereinfachten Anschlussmodellen werden nach DIN EN 1993 definiert. Mit den Anschlussmodellen wird geprüft, ob die Momenten-Rotations-Charakteristik / das Momenten-Verformungs-Verhalten konstruierter Anschlüsse bei der Berechnung zu berücksichtigen ist. Anschlussmodelle [nach (2) Abschnitt 5.1.1.2 S.54]:

„-gelenkig, bei dem angenommen wird, dass keine Biegemomente übertragen werden;

-biegesteif, bei dem angenommen wird, dass die Momenten-Rotations-Charakteristik eines Anschlusses bei der Tragwerksberechnung nicht berücksichtigt werden muss;

-nachgiebig, bei dem die Momenten-Rotations-Charakteristik eines Anschluss bei der Tragwerksberechnung zu berücksichtigen ist.“

Die Anschlussklasse der nachgiebigen Verbindungen wird im Grundsatz erläutert, da sie eine Neuerung im Eurocode 3 darstellt und durch die bisherige DIN 18800 nicht behandelt wird. Biegesteife und gelenkige Anschlüsse sind im Normenvergleich als Anschlussmodell gleich zu bewerten und werden daher allgemein erläutert.

2.1.2 Verformbare/Teiltragfähige Verbindungen

Klassifizierung der Anschlüsse:

Das neue statische Modell der nachgiebigen Verbindungen nach DIN EN 1993 macht eine Klassifizierung der konstruierten Anschlüsse notwendig. Es dient dazu das Anschlussverhalten abschätzen zu können, um die Auswirkungen auf die Stabilisierung des Gesamttragwerkes und die bei Belastung auftretenden Verformungen in der Berechnung zu berücksichtigen: „Eine Vergrößerung der Verformung beeinflusst die Gebrauchstauglichkeit des Tragwerkes, eine Änderung der Schnittgrößenverteilung die Tragfähigkeit“ [(10) S.132]. Das Verfahren zur Klassifizierung der Anschlüsse ist vom gewählten Verfahren der Tragwerksberechnung nach DIN EN 1993 abhängig.

Es wird unterschieden zwischen

- elastischer Tragwerksberechnung
- starr-plastischer Tragwerksberechnung
- elastisch-plastischer Tragwerksberechnung

Abb.1 zeigt eine tabellarische Darstellung der Methode zur Anschlussklassifizierungen sowie der Anschlussmodelle, die für die Tragwerksberechnung zu wählen sind. Das gewählte Berechnungsverfahren ist für die Klassifizierung der Anschlüsse ausschlaggebend. Eine elastische Berechnung des Tragwerkes klassifiziert die Anschlüsse nach der Steifigkeit (gelenkig, starr, verformbar) der Einzelkomponenten, eine plastische Berechnung hingegen klassifiziert den Anschluss nach seiner Tragfähigkeit (gelenkig, volltragfähig, teiltragfähig). Wird elastisch-plastisch gerechnet ist sowohl nach Steifigkeit als auch nach Tragfähigkeit zu klassifizieren.

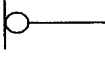

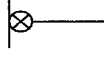
Berechnungsverfahren	Klassifizierung der Anschlüsse nach	Klassifizierung der Anschlüsse		
elastisch	Steifigkeit	gelenkig	starr	verformbar
starr-plastisch	Beanspruchbarkeit	gelenkig	volltragfähig	teiltragfähig
elastisch-plastisch	Steifigkeit + Beanspruchbarkeit	gelenkig	biegesteif = starr + volltragfähig	nachgiebig = verformbar + volltragfähig verformbar + teiltragfähig starr + teiltragfähig
Anschlussmodell für die Tragwerksberechnung		gelenkig  Rotation im Anschluss (Gelenk) $M = 0$	starr  keine Rotation im Anschluss $M \neq 0$	verformbar  Berücksichtigung der Anschlussverformung

Abb.1 Anschlussmodelle nach Eurocode 3 (11) S.615,Tab.2

Klassifizierung nach der Steifigkeit

Werden Anschlüsse mit dem elastischen Nachweisverfahren berechnet, ist die Rotationssteifigkeit zu überprüfen. Es wird die Anfangsrotationssteifigkeit $S_{j,ini}$ des Anschlusses bestimmt und mit den Steifigkeitsverhältnissen der angeschlossenen Profile über Formeln verglichen.

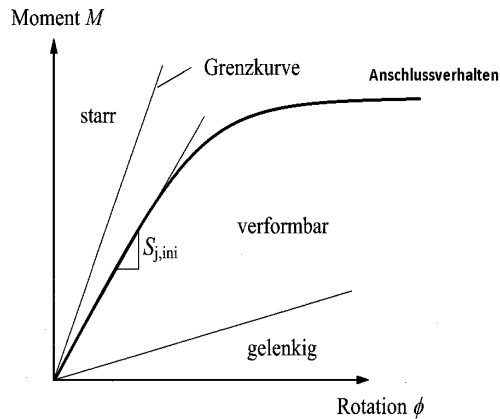


Abb. 2: Klassifizierung von Anschlüssen nach der Steifigkeit (Anschlussverhalten verformbarer Verbindung eingetragen) (7) S.186, Abb.6.16

Für einen verschieblichen Rahmen (Abb.3) gilt beispielsweise [nach (12) S.140]:

ein Anschluss als starr wenn: $S_{j,ini} \geq \frac{25 \cdot E \cdot I_b}{L_b}$

ein Anschluss als gelenkig wenn: $S_{j,ini} \leq \frac{0,5 \cdot E \cdot I_b}{L_b}$

mit: E – Modul ; I_b – Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung des Trägers
 L_b – Spannweite des Trägers

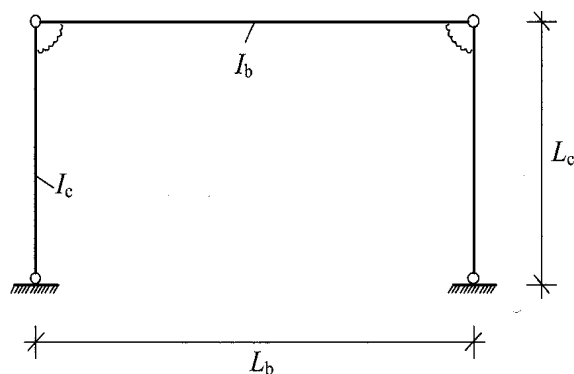


Abb. 3: Verschieblicher Zweigelenkrahmen mit verformbaren Anschlüssen (7) S.186, Abb.6.17

Abb. 2 zeigt, dass eine verformbare Verbindung vorhanden ist, wenn die Anfangsrotationssteifigkeit $S_{j,ini}$ zwischen den Grenzwerten der starren und gelenkigen Verbindung liegt.

Klassifizierung nach der Tragfähigkeit

Wird die Berechnung eines Tragwerkes durch ein plastisches Nachweisverfahren durchgeführt, wird nach DIN EN 1993 eine Klassifizierung der Anschlüsse nach ihren Momententragfähigkeiten $M_{j,Rd}$ durchgeführt. Die Klassifizierung ist ein Vergleich der Momententragfähigkeiten $M_{j,Rd}$ der Anschlüsse mit den aufnehmbaren Momenten $M_{pl,Rd}$ der unmittelbar angeschlossenen Profile.

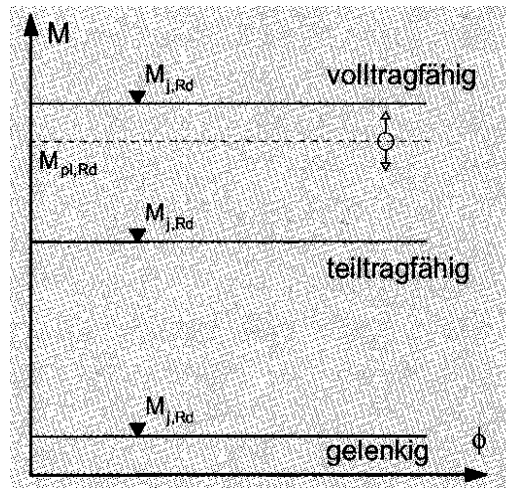


Abb.4 Anschlussklassifizierung nach der Tragfähigkeit (12) S.141, Bild K4

Abb.4 zeigt die Anschlussklassifizierung nach der Tragfähigkeit der Anschlüsse. Ein Anschluss gilt beispielsweise als volltragfähig [nach (12) S.141], wenn die Momententragfähigkeiten $M_{j,Rd}$ größer ist, als die Momententragfähigkeit $M_{pl,Rd}$ des unmittelbar angeschlossenen Profils. Eine teiltragfähige Verbindung liegt vor, wenn die Momententragfähigkeit des Anschlusses größer als 25 % der Momententragfähigkeit der angeschlossenen Profile ist, jedoch unterhalb von $M_{pl,Rd}$ liegt. Die Anschlussklasse der gelenkigen Verbindung liegt vor, wenn $M_{j,Rd} \leq \frac{1}{4} M_{pl,Rd}$ ist.

Die Klassifizierung nach Steifigkeiten beziehungsweise Tragfähigkeiten von Verbindungen, setzt die Ermittlung der Rotationssteifigkeit und Momententragfähigkeit der vorhandenen Anschlusskonstruktionen voraus. Nach DIN EN 1993 wird die Komponentenmethode für die Ermittlung der Kenngrößen verwendet.

Komponentenmethode:

Für die Ermittlung der von den Anschlusskomponenten abhängigen Kenngrößen der Anschluss Tragfähigkeit und Anschlusssteifigkeit werden zwei separate Modelle festgelegt. Abb.4 zeigt das Federmodell, welches zur Festlegung der Rotationssteifigkeit S_j eines Träger-Stützen-Anschluss ohne Aussteifungen verwendet wird. Die Steifigkeit der Anschlusskomponenten („Stützensteg- und Flansch, Trägersteg- und Flansch, Stirnplatte sowie Schrauben“) [(15) S.300 6.3.4.2] wird bestimmt, die elastischen Steifigkeitskoeffizienten k_i ermittelt und im Gesamtfedermodell angesetzt.

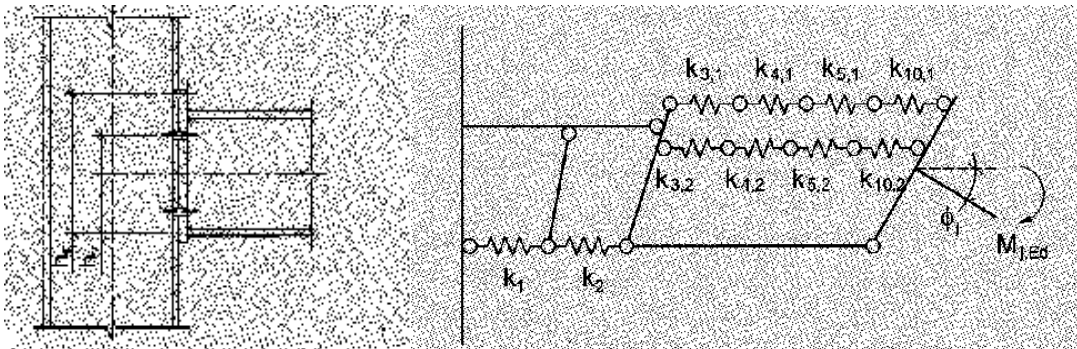


Abb.5 Darstellung des Federmodells einer Träger-Stützen-Verbindung (12) S.148, Bild K6

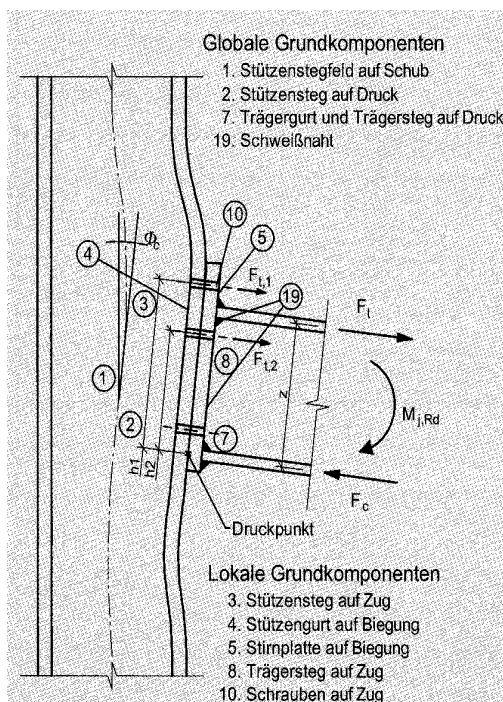
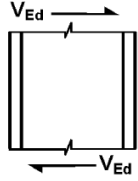
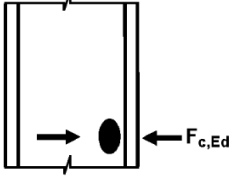
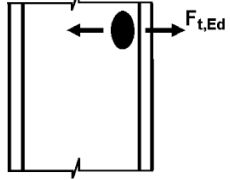
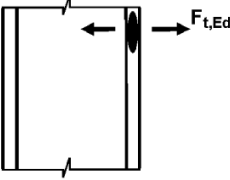


Abb.6 Grundkomponenten Träger-Stützen-Anschluss (12) S.148, Bild K5

Für die Ermittlung der Anschluss Tragfähigkeit von Träger-Stützen-Anschlüssen nach DIN EN 1993 dient das Modell der Grundkomponenten in Abb.6. Die Momententragfähigkeit $M_{j,Rd}$ wird durch die maßgebende Grundkomponente und ihre aufnehmbare Grenzkraft $F_{t,i}$ mit dem zugehörigen Hebelarm h_i ermittelt.

Die Ermittlung der Steifigkeiten, Tragfähigkeiten und Rotationskapazitäten der Grundkomponenten der Anschlüsse (Abb.5 u. Abb.6) werden mittels Tab.1 dargestellt. Die Ermittlung ist sehr differenziert und es wird auf den Abschnitt der DIN EN 1993 verwiesen, die das komponentenabhängige Berechnungsverfahren beinhalten.

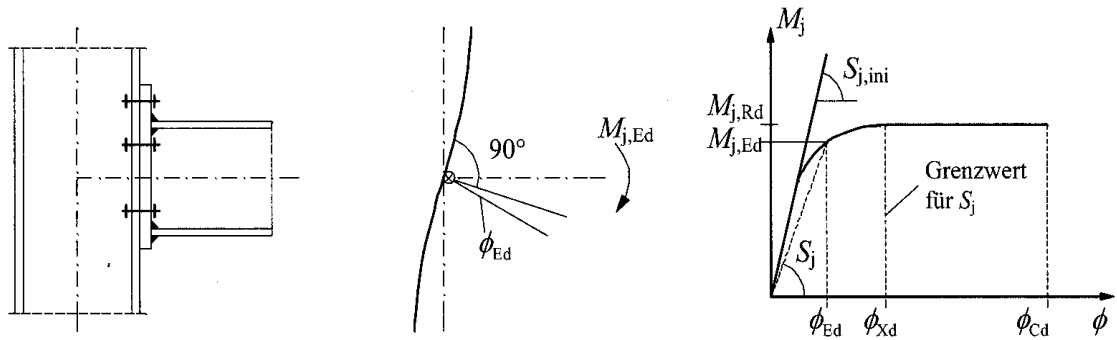
Tabelle 6.1 — Grundkomponenten eines Anschlusses

Komponente			Verweis auf Berechnungsverfahren		
			Tragfähigkeit	Steifigkeitskoeffizient	Rotationskapazität
1	Stützenstegfeld mit Schubbeanspruchung		6.2.6.1	6.3.2	6.4.2 6.4.3
2	Stützensteg mit Querdrukbeanspruchung		6.2.6.2	6.3.2	6.4.2 6.4.3
3	Stützensteg mit Querkzugbeanspruchung		6.2.6.3	6.3.2	6.4.2 6.4.3
4	Stützenflansch mit Biegung		6.2.6.4	6.3.2	6.4.2 6.4.3

Tab.1 Auszug aus Tabelle 6.1 Grundkomponenten der Anschlüsse (2)S.67, Tabelle 6.1

Momenten-Rotations-Charakteristik

Basierend auf den durch die Komponentenmethode berechneten Anschlusskenngrößen, kann die Momenten-Rotations-Charakteristik / das Momenten-Verformungs-Verhalten eines Anschlusses dargestellt werden. „Es ist nicht linear, d.h. mit wachsender Belastung verändert sich die Steifigkeit. Zu Beginn der Belastung beträgt sie $S_{j,ini}$ und nimmt dann ab, bis sie bei Erreichen des Grenzmomentes gleich Null ist.“[(10) S.132]. Abb.7 zeigt die Momenten-Rotations-Charakteristik einer unausgesteiften Träger-Stützen-Verbindung. Es entspricht dem Verhalten einer Rotationsfeder, die mit ihren Kenngrößen in der Tragwerksberechnung anzusetzen ist.



Die Anschlussklasse der verformbaren Verbindung nach DIN EN 1993 ist als grundlegende Neuerung im Nachweiskonzept gegenüber DIN 18800 anzusehen. Die Einführung der Anschlussklasse soll Fertigungskosten verringern, da durch aufwändiges Einschweißen von Stegsteifen bei Träger-Stützen-Anschlüssen hohe zusätzliche Fertigungskosten entstehen. Die aufwändige Ermittlung der Kenngrößen der Rotationsfedern des Anschlusses muss vor der Planung des Gesamttragwerks ermittelt werden, da die Aussteifung des Tragwerkes und die Verformungen der Bauteile durch die Steifigkeit der gewählten Anschlüsse stark beeinflusst werden. Teilweise werden Kenngrößen für verformbare Verbindungen nach (13) angegeben, somit ist eine individuelle Ermittlung nicht mehr notwendig.

2.1.3 Gelenkige Anschlüsse

Gelenkige Trägerverbindungen sind für die Übertragung von Querkraften vorgesehen. Eine Übertragung von kleinen Normalkraften, die im Nachweis zu berücksichtigen sind, ist zusätzlich möglich. Die Rotationskapazität (Verdrehung) gelenkiger Anschlüsse ist hoch, somit wird eine Übertragung von Momenten annähernd verhindert. „Gelenkwirkungen werden mit dünnen Stirnplatten, Anschlusswinkeln oder Stegglaschen erzielt. Mit diesen Verbindungselementen können zwar nur näherungsweise Gelenke ausgebildet werden, die Konstruktionen sind aber so weich, dass die erforderlichen Verdrehungen möglich sind und sie quasi wie Gelenke wirken.“[(10) S.69]. Durch unterschiedliche Ausführungsformen können Anschlüsse mit hohen Tragfähigkeiten, geringen Produktionskosten und guter Montierbarkeit hergestellt werden. Die möglichen Konstruktionsvarianten gelenkiger Anschlüsse sind in Abb.8 dargestellt. Gelenkige Anschlüsse dienen vorrangig der Träger-Stützen-Verbindung und der Träger-Träger-Verbindung. Die Verbindung von Trägern untereinander zu einem Gelenkträger (Stegglaschenverbindungen) sind selten.

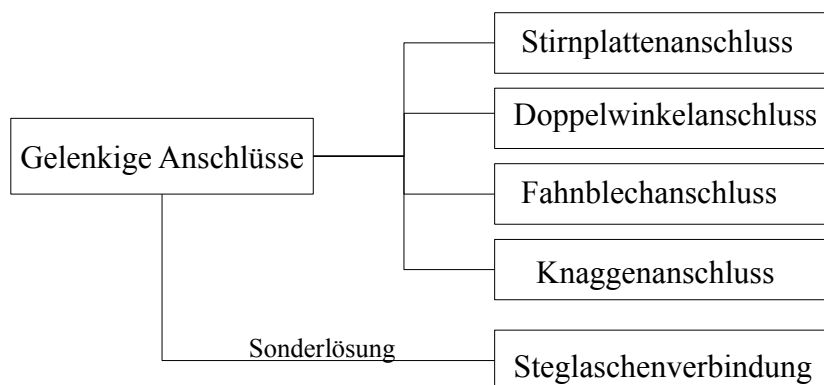


Abb.8 Konstruktionsarten gelenkiger Anschlüsse

Für den Nachweis gelenkiger Anschlüsse muss die „Lage des Gelenks“ [(10) S.97] festgelegt werden. Diese unterscheidet sich in den unterschiedlichen Ausführungsvarianten und nimmt entscheidenden Einfluss auf die Beanspruchungen, die sich auf die Anlussteile und Verbindungsmittel ergeben. Die Betrachtung wird für Träger-Stützen- und Träger-Träger-Verbindungen erläutert.

2.1.3.1 Träger-Stützen-Verbindungen

Träger-Stützen-Verbindungen die mit gelenkigen Anschlüsse ausgeführt werden sind in der Praxis eine wirtschaftliche Konstruktionsvariante. Die Lage des Gelenks bei der Berechnung von gelenkigen Anschlüssen, spielt sowohl für die zu führenden Einzelnachweise, als auch für die Berechnung des Gesamttragwerkes eine entscheidende Rolle.

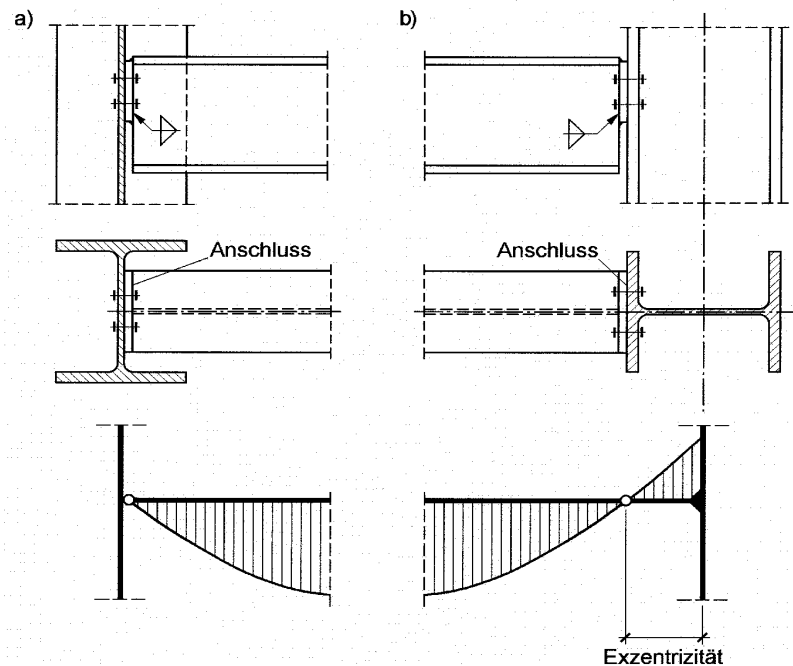


Abb.9 Lage des Gelenks bei gelenkigen Träger-Stützen-Verbindungen (10) S.98, Abb.3.17

Abb.9 zeigt den Unterschied in der Annahme des Gelenks für die Einleitung der Querkräfte. Wobei in a) der Anschluss an den Trägersteg der Stütze eine vernachlässigbar kleine Zusatzbelastung auf die Stütze bewirkt, erzeugt der Anschluss an den Trägergurt der Stütze in b) und die außermittige Lasteinleitung im Bezug auf die Systemlinie der Stütze eine Momentenbelastung, die beim Tragsicherheitsnachweis der Stütze zu beachten ist (siehe Momentenverlauf Abb.9 unten). Abb.10 zeigt einen Doppelwinkel- und einen Fahnablechanschluss an eine Stütze. Die Lage des Gelenkes kann sowohl beim Doppelwinkelanschluss, als auch beim Stirnplattenanschluss (siehe Abb.9) aufgrund der Verformbarkeit der Anschlusskomponenten (Winkel und Stirnplatte) an der Anschlussfläche angenommen werden. Der Fahnablechanschluss an die „starre“ Anschlussfläche (Abb.9), weist eine zusätzliche Exzentrizität auf. Das Fahnablech besitzt eine höhere Steifigkeit und die Gelenkwirkung kann sich nicht an der Anschlussfläche einstellen. Die Schraubenverbindung wird in diesem Fall als Gelenk angenommen.

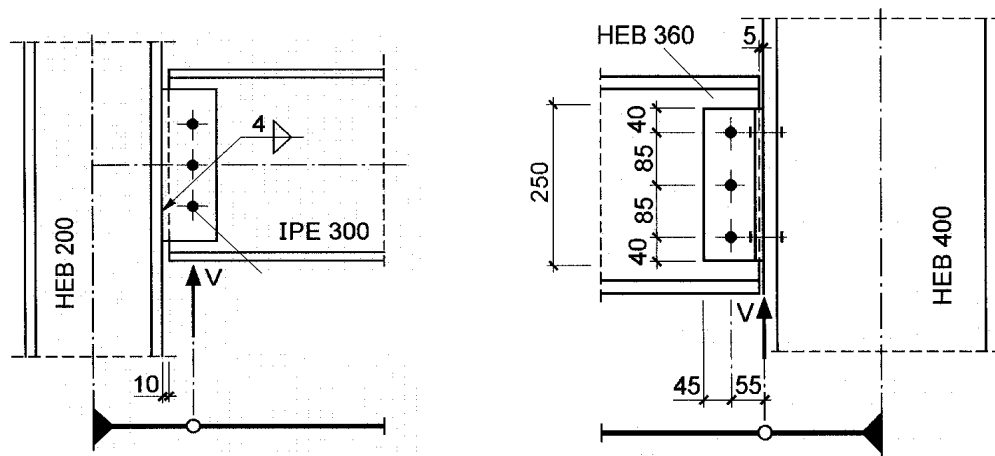


Abb.10 Lage des Gelenks bei Fahnenblech- und Doppelwinkelanschluss (10) S. 106/107, Abb.3.82/83

2.1.3.2 Träger-Träger-Verbindungen

Gelenkige Verbindungen von Haupt- und Nebenträgern werden in der Praxis häufig in einer Oberkante bündigen Ausführung konstruiert. Somit wird die außermittige Lage des Gelenks, die den Punkt der Einleitung der Querkraft darstellt, möglichst gering gehalten.

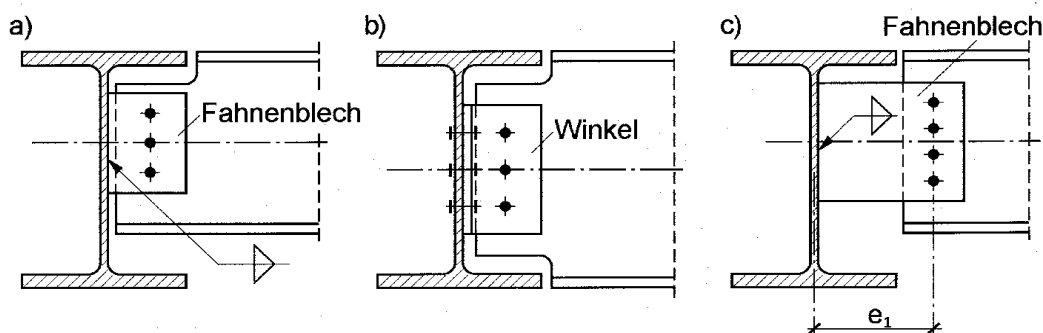


Abb. 11 Konstruktionsarten „Oberkante bündiger“ Trägerverbindungen (10) S.88, Abb.3.16

Abb.11 zeigt unterschiedliche Konstruktionsarten von Oberkante bündigen Trägerverbindungen. Die Fälle a) und b) zeigen die Ausführung unter Verwendung von einseitigen bzw. beidseitigen Ausklinkungen. Der Vorteil liegt in der gering gehaltenen Außermittigkeit der Lasteinleitung. Es ist zusätzlich der Nachweis des Restquerschnitts des ausgeklinkten Trägerprofils (Nachweis nach Abschnitt 2.2.8) zu führen. In der Ausführungsart c) wird eine Oberkante bündige Konstruktion ohne Ausklinkungen gezeigt. Die aus der größeren Außermittigkeit e_1 entstehenden Belastung müssen vom Anstussteil (Fahnenblech bzw. gestreckten Winkel) und den Schrauben aufgenommen werden.

2.1.4 Konstruktionsvarianten gelenkiger Anschlüsse

2.1.4.1 Stirnplattenanschluss

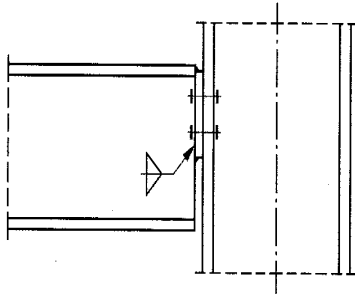


Abb.12 Konstruktionsvariante mit kurzer Stirnplatte (10) S.98

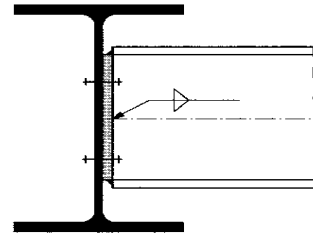


Abb.13 Anschluss eines Unterzuges mit langer Stirnplatte (7) S.147

Die Konstruktion eines gelenkigen Anschlusses als Stirnplattenanschluss bietet Vorteile, da Schrauben und Schweißnähte, bei Berücksichtigung der Ausführungsvariante, ausschließlich für die wirkenden Querkräfte zu bemessen sind. Stirnplattenanschlüsse weisen meist geringe Exzentrizitäten innerhalb der Anschlüsse auf (siehe Abb.9). „Durch die guten Zentrierung der Querkraft entstehen praktisch keine Exzentrizitätsmomente. Die in der Berechnung angenommene Gelenkwirkung des Anschlusses kann sich nur durch das von der Plattendicke und dem Abstand der vertikalen Schraubenreihen abhängige Verformungsvermögen der Stirnplatte einstellen“ [(7) S.160]. Die konstruktive Ausbildung eines Stirnplattenanschlusses kann sowohl mit langen, als auch mit kurzen Stirnplatten ausgeführt werden. Es muss berücksichtigt werden, dass sich durch lange und dicke Stirnplatten Zugbeanspruchungen aufgrund von entstehenden Anschlussmomenten auf die Verbindungen ergeben. „Die sich bei frei aufliegenden Trägern einstellende Endtangentialdrehung τ (siehe Abb.14) verursacht Verformungen des Stirnblechs und Zugkräfte in den oberen Schrauben sowie in der Schweißnaht“ [(15) S. 308]. Wird bei der konstruktiven Umsetzung des Stirnplattenanschlusses eine Ausführung gewählt, bei der die Stirnplatte sehr kurz ist, nur am oberen Flansch angeschweißt, und die Schraubverbindung sehr weit oben vorgesehen wird, können diese Zusatzbelastungen minimiert werden.

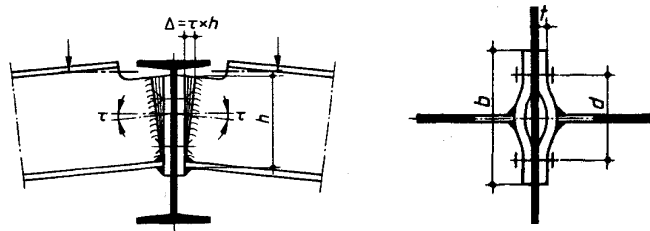


Abb. 14 Verformung der Stirnplatte bei Endtangentialdrehung der Träger (15)S.308

Einseitig angeschlossene Unterzüge an Hauptträger werden mit langen Stirnplatten konstruktiv umgesetzt. „Soll ein einseitig angeschlossener Träger den Unterzug gegen Verdrehen (Kippen) sichern, ist die Einspannwirkung des Anschlusses jedoch erwünscht und wird durch eine lange, mit beiden Flanschen verbundene Stirnplatte gefördert.“[(15) S. 308]. Schräge Trägerverbindungen sind durch Stirnplattenanschlüsse mit geringem Aufwand zu realisieren (Abb.15). Für Fertigung und Montage ist zu berücksichtigen, dass unter Umständen ein Untermaß in der Länge vorzusehen ist, um den Träger einfädeln zu können. Für den Nachweis im Normenvergleich und die Erstellung der Berechnungsalgorithmen werden nur Stirnplattenanschlüsse berücksichtigt, bei denen eine Zusatzbelastung aus Zugbeanspruchung durch Endtangendrehnung (Abb.15) vernachlässigt werden kann.

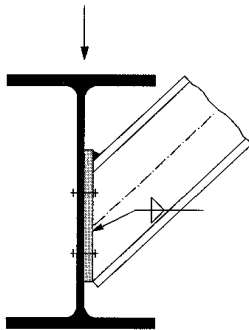


Abb.15 Schräge Stirnplattenverbindung (7) S.147

2.1.4.2 Doppelwinkelanschluss

Der Doppelwinkelanschluss als gelenkiger Anschluss kann ohne die Verwendung von Schweißverbindungen ausgeführt werden und bietet somit für die Montage individuelle Vorteile. Der Fertigungsaufwand und die Passgenauigkeit der Schraubenverbindungen die für eine reibungslose Montage vorausgesetzt ist, sind nachteilig. Bei der Berechnung von Doppelwinkelanschlüssen wird angenommen, dass die Querkraft zu gleichen Teilen auf die Winkel abgetragen wird. Die Schraubenverbindung im Trägersteg wird zusätzlich zur Querkraft V_z durch ein Moment $M_1 = V_z \cdot e_1$ (Abb.16) aus außermittiger Lasteinleitung beansprucht und muss auf diese Zusatzbelastung nachgewiesen werden.

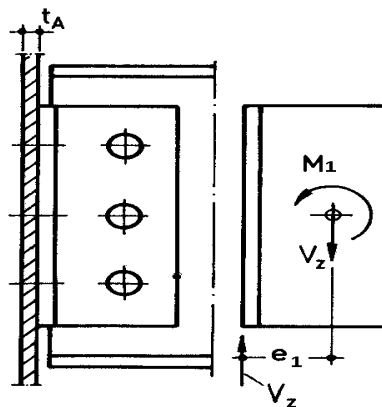


Abb.16 Schnittgrößen am Doppelwinkelanschluss nach (14) S.154

Für die Verbindung zwischen Winkel und Anschlussfläche gilt: „Anders als beim Anschluß am Trägersteg ist hier nicht der Schwerpunkt der Drehpol, sondern der Druckpunkt, in dem sich der Winkel bei einer Verdrehung gegen den Trägersteg anlegt. Das benötigte polare Flächenträgheitsmoment I_p (nach Abb.17) der Schrauben ist folglich auf diesen, auf der zunächst geschätzten Wirkungslinie von D liegenden Druckpunkt zu beziehen.“ [(15) S.312]. Es ist sowohl die Schraubenverbindung mit der Zusatzbeanspruchung nachzuweisen, als auch die aus der Druckkraft D erzeugten Belastungen.

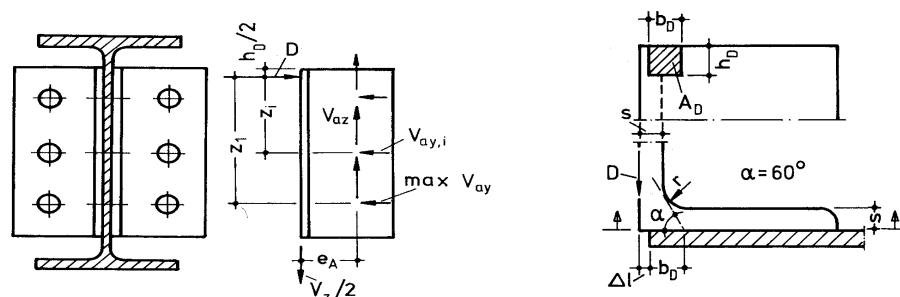


Abb.17 Wirkungsweise der Verbindung zwischen Winkel und Anschlussfläche nach (14) S.154/155

2.1.4.3 Knaggenanschluss

Der Knaggenanschluss ist eine Konstruktionsvariante gelenkiger Anschlüsse, die im allgemeinen für Träger-Stützen Anschlüsse verwendet wird. Die Lastweiterleitung der Querkräfte erfolgt durch Kontakt des Trägers auf eine an der Stütze aufgeschweißte Knagge. Abhängig von der Ausführung direkt durch den Untergurt des Trägers Abb.18a) oder durch eine aufgeschweißte Stirnplatten Abb.18b). Die Last wird mittels Schweißverbindungen in die Stütze eingeleitet. Es ist zu überprüfen ob Rippen zur Aussteifung des Trägerstegs vorzusehen sind. Kleine Fahnableche oder Stirnplatten dienen sowohl der Lagesicherung des Trägers auf der Knagge, als auch der Sicherung gegen seitliches Ausweichen (Kippen) des Trägers. Knaggenanschlüsse zeichnen sich im Allgemeinen durch ihre leichte Montierbarkeit und die hohen übertragbaren Lasten aus. Der Nachweis wird auf die Ausführungsvarianten ohne Aussteifungsrippen eingegrenzt.

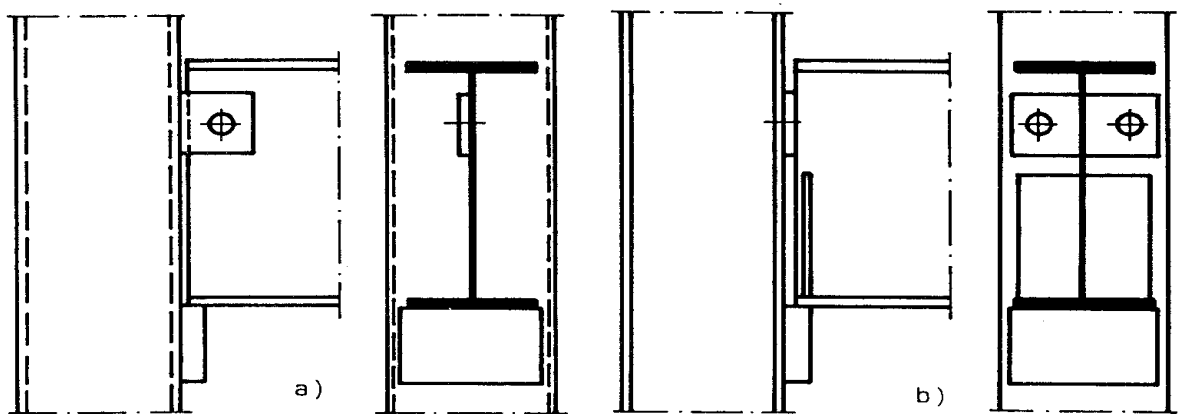


Abb.18 Konstruktionsvarianten von Knaggenanschlüsse (14) S. 168

Der Nachweis der Lasteinleitung in unausgesteifte Trägerstege im Normenvergleich wird in Abschnitt 2.2.7 erläutert.

2.1.4.4 Fahnablechanschluss

Fahnablechanschlüsse als Konstruktionsvariante der gelenkigen Anschlüsse sind sowohl für Fertigung als auch die Montage eine vorteilhafte Verbindung. Die Lasteinleitung ist in der einseitig angeschlossenen Ausführungsart außerhalb der Stegebene, somit ergibt sich eine Torsionsbelastung auf die Schweißnähte und das Anschlussblech. Die Steifigkeit der „Anschlussfläche“ ist in der Berechnung entscheidend. Bei einseitigem Anschluss von Haupt- und Nebenträger liegt ein Fahnablechanschluss mit „weicher“ Anschlussfläche vor (Abb.19 links). „Träger-Stützen-Verbindung und „beidseitige gleichbelastete Trägeranschlüsse“ [(14) S.163] werden als Fahnablechanschluss an eine „starre“ Anschlussfläche bezeichnet (Abb.119 rechts).

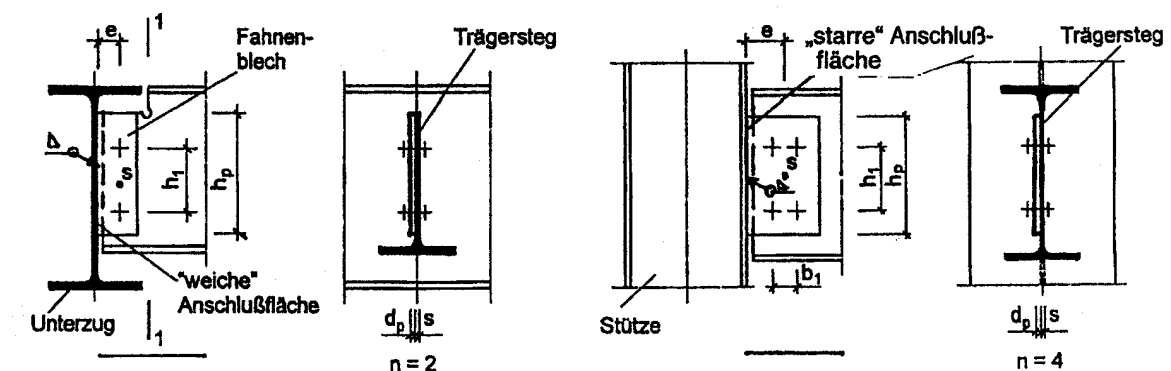


Abb.19 Konstruktionsarten von Fahnablechanschlüssen mit „weicher und starrer Anschlussfläche“ (16) S.6/29

Für die Bemessung der Anschlusskomponenten ist die Lage des Gelenks entscheidend. Bei der Bemessung eines Fahnablechanschlusses mit „weicher“ Anschlussfläche, wird der Momentennullpunkt am Steg des Hauptträgers angenommen. Eine Belastung aus Querkraft V_z und dem Moment $M_1 = V_z \cdot e_1$ aus außermittiger Lasteinleitung wirken auf das Fahnablech und die Schraubenverbindung. Die Schweißverbindung ist nur auf Querkraft V_z nachzuweisen. Die Lage des Momentennullpunktes für einen Fahnablechanschluss mit „starrer“ Anschlussfläche siehe Abschnitt (2.1.3.1) wird im Schwerpunkt der Schraubenverbindung angenommen. Es liegt eine biegesteife Verbindung zwischen Fahnablech (Kragarm) und Stütze vor. Die Schweißverbindung wird somit zusätzlich durch Momente $M_1 = V_z \cdot e_1$ aus außermittiger Lasteinleitung und Torsion M_T belastet. Die Schraubverbindung wird auf Querkraft V_z nachgewiesen.

2.1.5 Vergleich der Konstruktionsvarianten gelenkiger Anschlüsse

Die unterschiedlichen Konstruktionsvarianten gelenkiger Anschlüsse zeichnen sich durch unterschiedliche Eigenschaften aus. Tab.2 soll eine Übersicht über Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Konstruktionsvarianten gelenkiger Anschlüsse verschaffen, wobei der Augenmerk auf der Fertigung und Montage liegt, als auch auf der Eignung als Träger-Träger- beziehungsweise Träger-Stützen-Verbindung. Die Tabelle ist für Sonderlösungen, wie z.B: das Bauen im Bestand oder abhängig von der Zugänglichkeit nicht allgemeingültig und jeder Anschluss muss individuell ausgewählt werden.

Anschluss	Montage	Fertigung	Träger-Träger-Verbindung	Träger-Stützen-Verbindung
Stirnplattenanschluss	o	+	+	o
Knaggenanschluss	+	o	-	+
Fahnblechanschluss	+	+	+	+
Doppelwinkelanschluss	o	-	+	+

Tab.2 Vergleich der Konstruktionsvarianten gelenkiger Anschlüsse

o neutral / + vorteilhaft / - nachteilig bzw. Sonderlösung

Die Beurteilung der Fertigung ist allgemein festgelegt und kann abhängig von den vorhandenen automatisierten Fertigungsmaschinen abweichen.

2.1.6 Biegesteife Anschlüsse

Biegesteife Anschlüsse dienen im Stahlbau vorrangig zur Übertragung von Biegemomenten. Eine Übertragung von Querkraften und Normalkraften ist bei der Berücksichtigung in der Schnittgrößenverteilung ebenfalls möglich. Die Steifigkeit biegesteifer Anschlüsse ist sehr hoch und es treten trotz hoher Belastungen keine Gelenkverdrehungen auf, die in der Schnittgrößenverteilung oder Verformung zu berücksichtigen sind. Als gängige Anschlussarten der geschraubten biegesteifen Anschlüsse für I-Profile kommen Stirnplatten- (Abb.20 rechts) und Laschenanschlüsse (Abb.20 links) in unterschiedlichsten Ausführungen zur Anwendung. Die Erläuterungen für die Nachweisführung werden auf die biegesteifen Laschenstöße eingegrenzt. Die Verteilung der Schnittgrößen ist für den Nachweis der Verbindungsmittel und Querschnittsteile entscheidend. Sie wird für den geschraubten Laschenstoß erläutert.

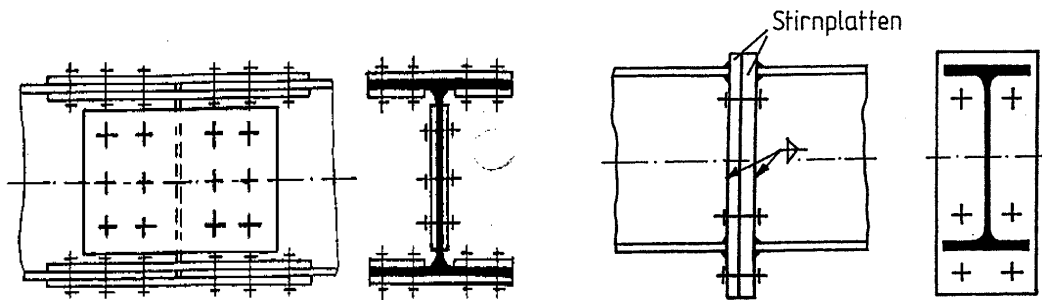


Abb.20 Darstellung eines Laschen- und Stirnplattenstoßes als biegesteife Trägerverbindung (16) S. 6/39

Ermittlung der Schnittgrößen

Für den Nachweis biegesteifer Verbindungen ist die Verteilung der Schnittgrößen auf die Einzelquerschnitte zu ermitteln. Bei der Berechnung der Einwirkungen auf eine biegesteife Verbindung wird angenommen, dass die Trägergurte den Großteil des Biegemomentes

M_y aufnehmen. Es wird eine Zerlegung der Kraft in eine Druckkraft, die meist aufgrund des Momentenverlaufs im Obergurt wirkt und in eine Zugkraft im Untergurt vorgenommen (Abb.21). Wirken zu der Hauptbelastung aus Biegemoment zusätzlichen Normal- und Querkraften auf die Verbindung, sind diese in der Ermittlung der wirkenden Schnittgrößen einzubeziehen und werden anteilig auf die Einzelflächen aufgeteilt. Querkraften V_z werden ausschließlich vom Trägersteg aufgenommen.

Abb.21 zeigt die, für den Laschenstoß angenommene Druckkraft im Obergurt und Zugkraft im Untergurt die aus einen positiven Biegemoment resultiert.

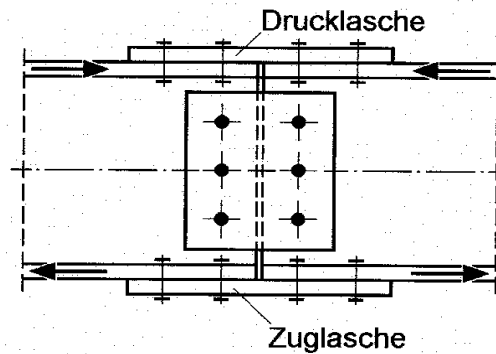


Abb. 21 Geschraubter Laschenstoß (10) S.74

Schnittgrößenverteilung in den Querschnittsteilen biegesteifer Laschenverbindungen nach [(16) S. 6/42]:

Abb.22 zeigt die Verteilung der Schnittgrößen, die für eine exakte Ermittlung der anteiligen Schnittgrößen genutzt wird. Auf das vereinfachte Verfahren zur Ermittlung der Schnittgrößen von Laschenverbindungen wird nicht eingegangen.

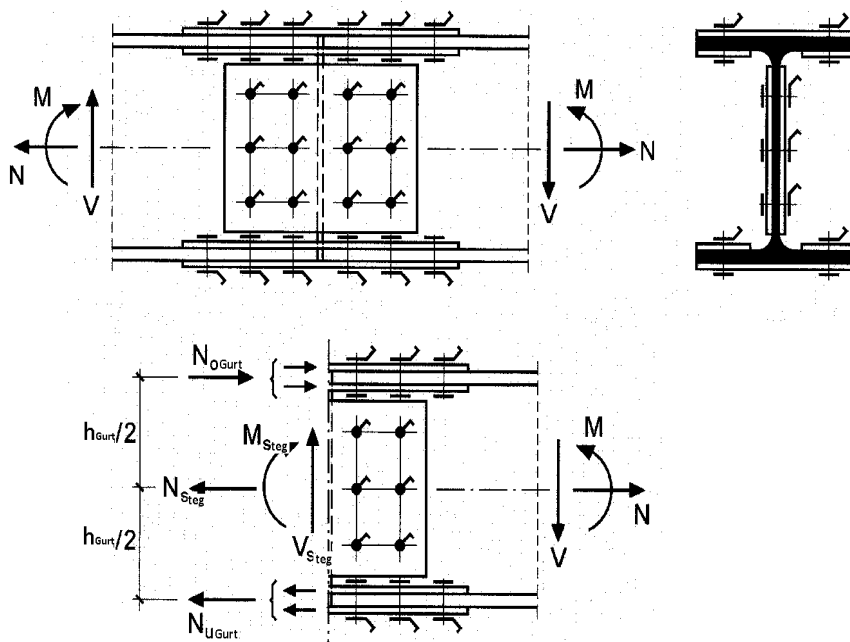


Abb.22 Schnittgrößenverteilung nach den Querschnittswerten eines Laschenstoßes nach (10) S.11

Schnittgrößenverteilung nach den Querschnittswerten der Teilflächen

$$\text{aus } M_y : \quad M_{\text{Gurt}} = \frac{M_y \cdot I_{\text{Gurt}}}{I_y} ; \quad M_{\text{Steg}} = \frac{M_y \cdot I_{\text{Steg}}}{I_y}$$

$$\text{aus } V_z : \quad V_{\text{Gurt}} = 0 ; \quad V_{\text{Steg}} = V_z$$

$$\text{aus } N : \quad N_{\text{Gurt}} = \frac{N \cdot A_{\text{Gurt}}}{A} ; \quad N_{\text{Steg}} = \frac{N \cdot A_{\text{Steg}}}{A}$$

Gurtschnittgrößen:

$$N_{\text{OGurt}} = \frac{-M_{\text{Gurt}}}{h_{\text{Gurt}}} + N_{\text{Gurt}} \quad \text{Normalkraft im Obergurt}$$

$$N_{\text{UGurt}} = \frac{M_{\text{Gurt}}}{h_{\text{Gurt}}} + N_{\text{Gurt}} \quad \text{Normalkraft im Untergurt}$$

$$\text{Stegschnittgrößen:} \quad M_x = M_{\text{Steg}} + M_1 ; \quad M_1 = V_z \cdot e_1$$

Der Nachweis biegesteifer Laschenstöße wird basieren auf:., Die Beanspruchung der Verbindung eines Querschnitts soll aus den Schnittgrößenanteilen dieses Querschnitts bestimmt werden.“[(3) S.71 Element 801] ausgehend von den Teilschnittgrößen der Querschnittsteile für die Anschlusskomponenten (Zuglasche, Drucklasche und Stegblech) und für die jeweils vorgesehenen Verbindungsmittel unabhängig geführt.

2.2 Grundlagen der Nachweisführung

Die Grundlagen der Nachweisführung werden für die Normen DIN 18800 und DIN EN 1993 einzeln erläutert und teilweise in direkten Gegenüberstellungen von Nachweisen und Formelzeichen dargestellt.

2.2.1 Querschnittsklassifizierung

DIN EN 1993 führt ein differenziertes System zur Klassifizierung von Querschnitten als Neuerung in der Nachweisführung ein. „Mit der Klassifizierung von Querschnitten soll die Begrenzung der Beanspruchbarkeit und Rotationskapazität durch lokales Beulen von Querschnitten festgestellt werden.“[(1) S.44 5.5.1]. Die Querschnittsklassifizierung der Querschnitte nach DIN EN 1993 ist eine Untersuchung der geometrischen Verhältnisse der Querschnittsteile zueinander, die zusammen mit dem Spannungsverlauf des Querschnitts festlegt, wie stark der Querschnitt zum Ausbilden von Beulfeldern neigt. Hierbei wird differenziert, ob plastische Tragreserven angesetzt werden können oder eine linear elastische Berechnung angewendet werden muss. Es entscheidet, ob der Querschnitt plastifiziert und ein Fließgelenk bildet, oder ob der Querschnitt vor dem Erreichen der Streckgrenze ausbeult. Die Klassifizierung von Querschnitten ist in DIN EN 1993-1-1 als vereinfachter Beulnachweis zu führen. Der exakte Beulnachweis stabilitätsgefährdeter Querschnitte ist in DIN EN 1993-1-5 Plattenbeulen erläutert, wird hier jedoch nicht weiter behandelt.

Die Querschnittsklassen werden nach [(1) S.44 5.5.2.(1)] definiert:

„Querschnitte der Klasse 1 können plastische Gelenke oder Fließzonen mit ausreichender plastischer Momententragfähigkeit und Rotationskapazität für die plastische Berechnung ausbilden;

Querschnitte der Klasse 2 können die plastische Momententragfähigkeit entwickeln, haben aber aufgrund örtlichen Beulen nur eine begrenzte Rotationskapazität;

Querschnitte der Klasse 3 erreichen für eine elastische Spannungsverteilung die Streckgrenze in der ungünstigsten Querschnittsfaser, können aber wegen örtlichen Beulens die plastische Momententragfähigkeit nicht entwickeln;

Querschnitte der Klasse 4 sind solche, bei denen örtliches Beulen vor Erreichen der Streckgrenze in einem oder mehreren Teilen des Querschnitts auftritt.“

2.2.1.1 Ermittlung der Querschnittsklasse DIN EN 1993

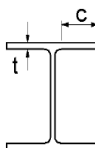
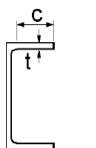
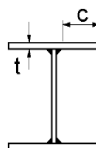
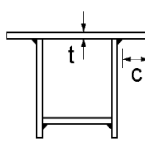
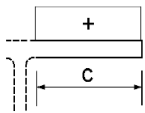
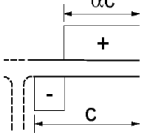
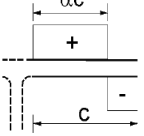
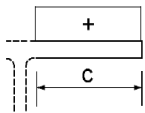
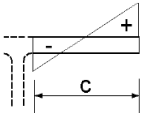
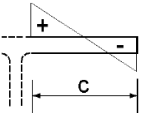
Bei der Ermittlung der Querschnittsklasse ist festgelegt, dass der ungünstigste Querschnittsteil maßgebend wird, wobei eine getrennte Einteilung der druckbeanspruchten Querschnittsteile (Gurt und Steg) erforderlich ist. Querschnitte der Klassen 1, 2 und 3 werden durch Überprüfung der Schlankheit dem c/t -Verhältniss eingestuft.

Nachweisformel: $\text{vorh } \frac{c}{t} \leq \max \frac{c}{t}$

Querschnitte, die den Nachweis der Querschnittsklasse 3 nicht erfüllen, werden in die Querschnittsklasse 4 eingestuft. Der Nachweis der Tragfähigkeit erfolgt mit effektiven Querschnittswerten und es muss der Beulnachweis nach DIN EN 1993-1-5 geführt werden.

Beidseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile							
				Biegeachse			
				Biegeachse			
Klasse	auf Biegung beanspruchte Querschnittsteile	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile	auf Druck und Biegung beanspruchte Querschnittsteile				
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)							
1	$clt \leq 72\varepsilon$	$clt \leq 33\varepsilon$	für $\alpha > 0,5$: $clt \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ für $\alpha \leq 0,5$: $clt \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$				
2	$clt \leq 83\varepsilon$	$clt \leq 38\varepsilon$	für $\alpha > 0,5$: $clt \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ für $\alpha \leq 0,5$: $clt \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$				
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)							
3	$clt \leq 124\varepsilon$	$clt \leq 42\varepsilon$	für $\psi > -1$: $clt \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ für $\psi \leq -1^a$: $clt \leq 62\varepsilon (1 - \psi) \sqrt{(-\psi)}$				
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460	
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71	
^a Es gilt $\psi \leq -1$ falls entweder die Druckspannungen $\sigma \leq f_y$ oder die Dehnungen infolge Zug $\varepsilon_y > \frac{f_y}{E}$ sind.							

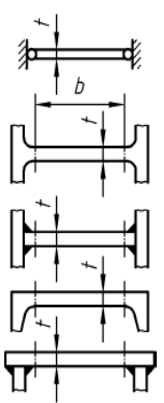
Tab. 3 Ermittlung der c/t -Verhältnisse (2) Seite 46

Einseitig gestützte Flansche							
							
Gewalzte Querschnitte				Geschweißte Querschnitte			
Klasse	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile	auf Druck und Biegung beanspruchte Querschnittsteile					
		freier Rand im Druckbereich		freier Rand im Zugbereich			
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)							
1	$clt \leq 9\varepsilon$	$clt \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$		$clt \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$clt \leq 10\varepsilon$	$clt \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$		$clt \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)							
3	$clt \leq 14\varepsilon$	$clt \leq 21\varepsilon \sqrt{k_\sigma}$					
		Für k_σ siehe EN 1993-1-5					
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$		f_y	235	275	355	420	460
		ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

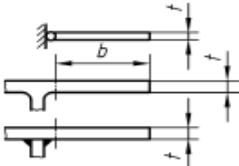
Tab. 4 Ermittlung der c/t-Verhältnisse (2) Seite 47

2.2.1.2 Ermittlung der b/t-Verhältnisse DIN 18800

In der DIN 18800 wird eine Ermittlung der grenz - $\frac{b}{t}$ Verhältnisse vorgenommen. „Bei Einhaltung der Werte der grenz (b/t) ist das volle Mitwirken der Querschnittsteile unter Druckspannung gewährleistet. Der Nachweis ausreichender Beulsicherheit nach DIN 18800-3 (11.90) ist in diesem Fall nicht erforderlich. Die Querschnitte werden in ein- bzw. zweiseitig gelagerte Plattenstreifen eingeteilt und nachgewiesen.“ [(5)S.8.11]

	1	2	3
1	Lagerung: 	<p>grenz (b/t) allgemein:</p> <p>— Bereich $0 < \psi \leq 1$</p> $\text{grenz (b/t)} = 420,4 \cdot (1 - 0,278 \psi - 0,025 \psi^2) \cdot \sqrt{\frac{k_\sigma}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$ <p>— Bereich $\psi \leq 0$</p> $\text{grenz (b/t)} = 420,4 \cdot \sqrt{\frac{k_\sigma}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$	
2	Randspannungsverhältnis ψ	Beulwert k_σ in Abhängigkeit vom Randspannungsverhältnis ψ	grenz (b/t) für Sonderfälle des Randspannungsverhältnisses ψ
3	1	4	$37,8 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
4	$1 > \psi > 0$	$\frac{8,2}{\psi + 1,05}$	$27,1 (1 - 0,278 \psi - 0,025 \cdot \psi^2) \cdot \sqrt{\frac{8,2}{\psi + 1,05}} \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
5	0	7,81	$75,8 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
6	$0 > \psi > -1$	$7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2$	$27,1 \cdot \sqrt{7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2} \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
7	-1	23,9	$133 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
Für $\sigma_1 \cdot \gamma_M = f_{y,k}$ darf der Maximalwert $f_{y,k}$ nach Tabelle 1 für die jeweilige Stahlsorte unabhängig von der Erzeugnisdicke in den Wurzel Ausdruck eingesetzt werden.			

Tab. 5 Ermittlung der b/t -Verhältnisse (1) S.55

	1	2	3
1	Lagerung: 		grenz (b/t) allgemein: $305 \cdot \sqrt{\frac{k_{\sigma}}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
2	Randspannungsverhältnis ψ	Beulwert k_{σ} in Abhängigkeit vom Randspannungsverhältnis ψ	grenz (b/t) für Sonderfälle des Randspannungsverhältnisses ψ
3	Größte Druckspannung am gelagerten Rand		
4	1	0,43	$12,9 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
5	$1 > \psi > 0$	$\frac{0,578}{\psi + 0,34}$	$19,7 \cdot \sqrt{\frac{0,578}{\psi + 0,34}} \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
6	0	1,70	$25,7 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
7	$0 > \psi > -1$	$1,70 - 5 \cdot \psi + 17,1 \cdot \psi^2$	$19,7 \cdot \sqrt{1,70 - 5 \cdot \psi + 17,1 \cdot \psi^2} \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
8	-1	23,8	$96,1 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
9	Größte Druckspannung am freien Rand		
10	1	0,43	$12,9 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
11	$1 > \psi > 0$	$0,57 - 0,21 \cdot \psi + 0,07 \cdot \psi^2$	$19,7 \cdot \sqrt{0,57 - 0,21 \cdot \psi + 0,07 \cdot \psi^2} \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
12	0	0,57	$14,9 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
13	$0 > \psi > -1$	$0,57 - 0,21 \cdot \psi + 0,07 \cdot \psi^2$	$19,7 \cdot \sqrt{0,57 - 0,21 \cdot \psi + 0,07 \cdot \psi^2} \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
14	-1	0,85	$18,2 \cdot \sqrt{\frac{240}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}}$
Für $\sigma_1 \cdot \gamma_M = f_{y,k}$ darf der Maximalwert $f_{y,k}$ nach Tabelle 1 für die jeweilige Stahlsorte unabhängig von der Erzeugnisdicke in den Wurzel Ausdruck eingesetzt werden.			

Tab.6 Ermittlung der b/t-Verhältnisse (1)S.55

Die Einteilung von Querschnitten in Querschnittsklassen nach Eurocode 3 und die Überprüfung der b/t-Verhältnisse nach DIN 18800 ist eine Überprüfung der ausreichenden Beulsicherheit der druckbelasteten Querschnittsteile. Vorteilhaft ist die zusätzliche Festlegung des für den Querschnitt geeigneten Berechnungsverfahrens nach DIN EN 1993, da somit anders, als das für Berechnungen nach DIN 18800 gilt, die Grenzen der Anwendbarkeit der elastisch-plastischen und plastischen Berechnungsverfahren für bestimmte Querschnitte aufgezeigt werden.

2.2.2 Gegenüberstellung der Nachweise des Grundwerkstoffs DIN EN 1993 und DIN 18800

2.2.2.1 Nachweis des Grundwerkstoffs DIN 18800

Der Nachweis wird auf den Grenzzustand der Tragfähigkeit reduziert - ohne Betrachtung der Stabilitätsnachweise.

DIN EN 1993 führt im Vergleich zu DIN 18800 ein differenziertes System für die Wahl der Teilsicherheitsbeiwerte ein. Teilsicherheitsbeiwerte[nach NA–Anhang DIN EN 1993-1-1] :

γ_{M0}	= 1,0	Querschnittsnachweise
γ_{M1}	= 1,1	Stabilitätsversagen
γ_{M2}	= 1,25	Berechnung von Anschlüssen

Der Nachweis von Querschnitten ist nach DIN EN 1993 durch zwei mögliche Nachweisverfahren zu führen. Spannungsnachweise als Querschnittsnachweis sind im Eurocode 3 weiterhin anzuwenden. Es ist ein linear-elastisches Nachweisverfahren, dass unabhängig von der Einteilung in die Querschnittsklassen geführt werden kann (Querschnittsklasse 1-4). Es werden keine plastischen Querschnittsreserven ausgenutzt und die Streckgrenze des Werkstoffs wird als Beanspruchbarkeit definiert. Abhängig von der Querschnittsklasse kann ein Nachweis der Querschnittswiderstände durch den Schnittgrößenvergleich geführt werden, wobei abhängig von der Querschnittsklasse zwischen elastischer Berechnung und plastischer Berechnung bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeiten unterschieden wird. Der Spannungsnachweis ist im Vergleich mit dem Nachweis der Querschnittswiderstände oft weniger wirtschaftlich, da Querschnittsabmessungen und das daraus resultierende Werkstoffverhalten nicht berücksichtigt werden.

Spannungsnachweis DIN EN 1993-1-1:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right) \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right) + 3 \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1$$

Abb.23 Spannungsnachweis(1) S.49, 6.2.1.5

Der Spannungsnachweis gilt für Querschnitte der Klasse 1, 2 und 3. Für Querschnitte, die in Querschnittsklasse 4 einzuteilen sind, müssen die Spannungen für die wirksamen Querschnittswerte ermittelt werden.

Werkstoffe

Werkstoffnorm und Stahlsorte	Erzeugnisdicke t mm			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	f_y N/mm ²	f_u N/mm ²	f_y N/mm ²	f_u N/mm ²
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	$\boxed{\text{AC}} 490 \boxed{\text{AC}}$	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	$\boxed{\text{AC}} 490 \boxed{\text{AC}}$	335	490
EN 10025-6				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550
EN 10210-1				
S 235 H	235	360	215	340
S 275 H	275	430	255	410
S 355 H	355	510	335	490
S 275 NH/NLH	275	390	255	370
S 355 NH/NLH	355	490	335	470
S 420 NH/NLH	420	540	390	520
S 460 NH/NLH	460	560	430	550
EN 10219-1				
S 235 H	235	360		
S 275 H	275	430		
S 355 H	355	510		
S 275 NH/NLH	275	370		
S 355 NH/NLH	355	470		
S 460 NH/NLH	460	550		
S 275 MH/MLH	275	360		
S 355 MH/MLH	355	470		
S 420 MH/MLH	420	500		
S 460 MH/MLH	460	530		

Tab.7 Charakteristische Werte für Streckgrenze und Zugfestigkeit (1) Tabelle 3.1,S.28

Für Querschnitte der Klasse 1,2 und 3 kann der Nachweis der Querschnittswiderstände über den Schnittgrößenvergleich geführt werden. „Das Kriterium darf auch für Querschnitte der Klasse 4 verwendet werden, wenn die Beanspruchbarkeiten mit den effektiven Querschnittswerten bestimmt werden und die exzentrischen Momente aus der Verschiebung der Hauptachse berücksichtigt werden.“ [(4) S. 8.14, 2.2.1]. Die Ermittlung der effektiven Querschnittswerte erfolgt nach DIN EN 1993-1-5.

Zugbeanspruchte Querschnitte

Nachweis $\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$

$N_{t,Ed}$ – Bemessungswert der auf den Querschnitt wirkenden Zugkraft

$N_{t,Rd}$ – Grenzzugkraft des Querschnitts

Für zugbeanspruchte Querschnitte wird keine Einteilung in Querschnittsklassen vorgenommen.

Grenzzugkraft der Querschnitts $N_{t,Rd} = \min$ - $N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$
 - $N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$

$N_{pl,Rd}$ – Grenzzugkraft des Querschnitts ohne Lochabzug

$N_{u,Rd}$ – Grenzzugkraft des Querschnitts mit Lochabzug

A – Querschnittsfläche

A_{net} – Nettoquerschnittsfläche Zugstab

(im maßgebenden Schnitt durch das Lochbild)

f_y - nach Tab.7

Druckbeanspruchte Querschnitte

Nachweis
$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

N_{Ed} – Bemessungswert der auf den Querschnitt wirkenden Druckkraft

$N_{c,Rd}$ – Grenzdruckkraft des Querschnitts

Druckbeanspruchte Querschnitte sind abhängig von der Querschnittsklasse nachzuweisen.

Ermittlung der Grenzdruckkraft

Querschnittsklasse 1,2 und 3:
$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Querschnittsklasse 4:
$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

A_{eff} - wirksame Querschnittsfläche

Biegebeanspruchung (einachsig)

Nachweis:
$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Querschnittsklasse 1,2:
$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Querschnittsklasse 3:
$$M_{c,Rd} = W_{el,min} = \frac{W_{el,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Querschnittsklasse 4:
$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Für die zugbeanspruchten Querschnittsteile muss bei der Berechnung überprüft werden, ob

der Lochabzug zu berücksichtigen ist:
$$\frac{0,9 \cdot A_{f,net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \leq \frac{A_f \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Querkraftbeanspruchung

Nachweis:
$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad A_v - \text{wirksame Schubfläche}$$

Für den Nachweis der durch Querkraft beanspruchten Querschnitten ist eine Überprüfung der Gefahr des Schubbeulens unausgesteifter Stege durchzuführen.

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{72 \cdot \epsilon}{\eta} \quad ; \quad \epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad f_y - \text{Streckgrenze des Steges in N/mm}^2$$

$\eta = 1,2 \quad (\text{Bis Baustahl S 460})$

Falls I-Profile verbaut werden und $\frac{A_f (\text{Fläche eines Gurtes})}{A_w (\text{Stegfläche})} \geq 0,6$, gilt

Nachweis
$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})} \leq 1,0$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w}$$

Interaktionsbeziehungen bei kombinierten Beanspruchungen

Biegung und Querkraft $V_{Ed} \geq 0,5 \cdot V_{c,Rd}$

Abgeminderte zulässige Spannung:
$$\sigma_{V,Rd} = \frac{(1-\rho) \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

Abminderung des zulässigen Grenzmomentes $M_{V,c,RD} = W_{pl} \cdot \sigma_{V,Rd}$

Nachweis
$$\frac{M_{Ed}}{M_{V,c,Rd}} \leq 1,0 \quad , \quad \text{mit} \quad M_{V,c,RD} \leq M_{pl,Rd}$$

Der Nachweis der Querkraft $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$ ist zu erfüllen.

2.2.2.2 Nachweis des Grundwerkstoffs DIN 18800

In Vergleich zur DIN EN 1993 wird der Nachweis des Grundwerkstoff nach DIN 18800 mit einem Spannungsnachweis geführt. Für den Nachweis der Querschnitte, der Stabilität und der Verbindungsmittel ist der einheitliche Teilsicherheitsbeiwert γ_M gültig. Es wird der Nachweis nach dem Verfahren elastisch-elastisch erläutert.

Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_M=1,1$

Werkstoffe

	1	2	3	4	5	6	7
		Erzeugnis- dicke t mm	Streck- grenze f_{yk} N/mm ²	Zug- festigkeit f_{tk} N/mm ²	E-Modul E N/mm ²	Schub- modul G N/mm ²	Temperatur- dehnzahl α_T K ⁻¹
	Baustahl				210 000	81 000	12×10^{-6}
1	S235	$t \leq 40$	240	360			
2		$40 < t \leq 100$	215				
3	S275	$t \leq 40$	275	410			
4		$40 < t \leq 80$	255				
5	S355	$t \leq 40$	360	470			
6		$40 < t \leq 80$	335				
7	S450	$t \leq 40$	440	550			
8		$40 < t \leq 80$	410				
	Feinkornbaustahl						
9	S275N u. NL, M u. ML	$t \leq 40$	275	370			
10	P275NH, NL1 u. NL2	$40 < t \leq 80$	255				
11	S355N u. NL	$t \leq 40$	360	470			
12	P355N, NH, NL1 u. NL2, QH1	$40 < t \leq 80$	335				
13	S355M u. ML	$t \leq 40$	360	450			
14		$40 < t \leq 80$	335				
15	S420N u. NL	$t \leq 40$	420	520			
16		$40 < t \leq 80$	390				
17	S420M u. ML	$t \leq 40$	420	500			
18		$40 < t \leq 80$	390				
19	S460N u. NL	$t \leq 40$	460	550			
20		$40 < t \leq 80$	430				
21	S460M u. ML	$t \leq 40$	460	530			
22		$40 < t \leq 80$	430				
	Vergütungsstahl						
23	C35+N	$t \leq 16$	300	550			
24		$16 < t \leq 100$	270	520			
25	C45+N	$t \leq 16$	340	620			
26		$16 < t \leq 100$	305	580			
	Gusswerkstoffe						
27	GS200	$t \leq 100$	200	380			
28	GS240		240	450			
29	GE200	$t \leq 160$	200	380			
30	GE240		240	450			
31	G17Mn5+QT	$t \leq 50$	240	450			
32	G20Mn5+N	$t \leq 30$	300	480			
33	G20Mn5+QT	$t \leq 100$	300	500			
34	EN-GJS-400-15	$t \leq 60$	250	390	169 000	46 000	$12,5 \times 10^{-6}$
35	EN-GJS-400-18		250				
36	EN-GJS-400-18-LT		230				
37	EN-GJS-400-18-RT		250				

Tab.8 charakteristische Werte für Streckgrenze und Zugfestigkeit (3) Tabelle 1,S.18

Normalspannung (aus einachsiger Biegung und Normalkraft)

Nachweis $\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{R,d}} \leq 1,0$

Normalspannung $\sigma_{\perp} = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y} \cdot z$;

Grenznormalspannung $\sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$ $f_{y,k}$ -Streckgrenze des Werkstoffs nach Tab. 8

Schubspannung

Nachweis $\frac{\tau}{\tau_{R,d}} \leq 1,0$

für $\frac{A_{Gurt}}{A_{Steg}} > 0,6$ kann die mittlere Schubspannung $\tau = \frac{V_z}{A_{Steg}}$

für die Berechnung verwendet werden

für $\frac{A_{Gurt}}{A_{Steg}} \leq 0,6$ gilt $\tau = \frac{V_z \cdot S_y}{I_y \cdot t_s}$

$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M}$ Grenzschubspannung

Wirken Schub- und Normalspannung in gleichen Querschnittsbereichen muss ein Vergleichsspannungsnachweis geführt werden.

Nachweis $\frac{\sigma_v}{\sigma_{R,d}} \leq 1,0$

$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$ Vergleichsspannung

2.2.3 Gegenüberstellung der Nachweise von Schweißverbindungen DIN EN 1993 und DIN 18800

2.2.3.1 Schweißnahtgeometrien im Vergleich

Die Ermittlung der Schweißnahtgeometrien wird für DIN EN 1993 erläutert und tabellarisch den zulässigen Schweißnahtabmessungen nach DIN 18800 gegenübergestellt.

Erzeugnisstärke $t \geq 4 \text{ mm}$; ($t < 4 \text{ mm}$ Verweis auf DIN EN 1993-1-3)

Schweißnahtstärke $a \geq 3 \text{ mm}$

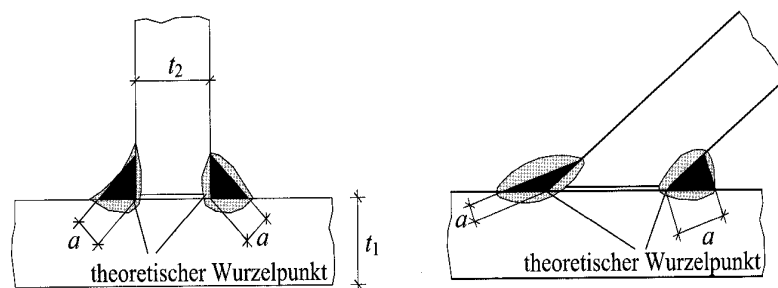


Abb.24 Kehl-nahtstärke a [(7) S.53 Bild 2.6]

„Die wirksame Nahtstärke a ist gleich der bis zum theoretischen Wurzelpunkt gemessenen Höhe des einschreibbaren gleichschenkligen Dreiecks.“ [(7) S.53 , 2.4.1]

Der Nationale Anhang für Deutschland DIN EN 1993-1-8 NA stellt eine weitere Forderung an die Nahtgeometrie

$$\min a \geq \sqrt{\max t} - 0,5$$

Bei Erzeugnisstärken $t \geq 30 \text{ mm}$ ist die Nahtstärke $\min a \geq 5 \text{ mm}$ einzuhalten.

Schweißnahtlänge $\min l_w \geq (30 \text{ mm} ; 6 \cdot a)$
 $\max l_w \leq 150 \cdot a$

„Schweißnähte, deren wirksame Länge weniger als 30 mm oder das sechsfache der Nahtstärke beträgt (je nach dem welcher Wert kleiner ist), sollten für die Übertragung von Kräften außer Betracht bleiben.“ [(10) S. 318]

Abminderungsbeiwert für lange Anschlüsse

$$\beta_{Lw,1} = 1,2 - 0,2 \cdot L_j / (150 \cdot a)$$

$$\beta_{Lw,1} \leq 1,0$$

Überschreiten die Kehlnähte eine Länge von $150 \cdot a$ muss die Grenzscheißnahtspannung mit β_{Lw} abgemindert werden.

Gegenüberstellung der zulässigen Schweißnahtgeometrien:

	DIN 18800	DIN EN 1993-1-8
Erzeugnisstärke	$t \geq 3 \text{ mm}$	$t \geq 4 \text{ mm}$
Wirksame Kehlnahtstärke	$2 \text{ mm} \leq a \leq 0,7 \cdot \min t$ $a \geq \sqrt{\max t} - 0,5$	$a \geq 3 \text{ mm}$ $a \geq \sqrt{\max t} - 0,5$
Wirksame Kehlnahtlänge	$l \geq 6 \cdot a ; 30 \text{ mm}$ $l \leq 150 \cdot a$	$l_w \geq 6 \cdot a ; 30 \text{ mm}$ $l_w \leq 150 \cdot a$, sonst Abminderung langer Anschlüsse mit $\beta_{Lw,1} = 1,2 - 0,2 \cdot L_j / (150 \cdot a)$ $\beta_{Lw,1} \leq 1,0$
Wirksame Kehlnahtfläche	$A_w = \sum a \cdot l$	$A_w = \sum a \cdot l_w$

Tab.9 Geometrien der Schweißnähte im Vergleich

Tab.9 zeigt die Änderungen die sich durch DIN EN 1993 ergeben im direkten Vergleich zur DIN 18800. Die minimale Erzeugnisstärke die bislang mit 3mm festgelegt wurde, wird auf minimal 4mm durch DIN EN 1993 festgelegt. Die Nahtstärkenbeschränkungen sind durch DIN 18800 strenger festgelegt und müssen abhängig von den zu verschweißenden Werkstoffstärken berechnet werden. Im Vergleich ist nach DIN EN 1993 nur eine wirksame Nahtstärke von mindestens 3mm vorgesehen, wird jedoch durch eine Forderung des Nationalen Anhang für Deutschland, der sich auf die maximale Werkstoffstärke bezieht ergänzt.

Spannungskomponenten für den Nachweis von Kehlnähten

Die Spannungskomponenten für den Nachweis der Schweißnähte nach DIN 18800 und dem richtungsbezogenen Nachweisverfahren nach Eurocode 3 werden unterteilt in:

- σ_{\perp} Normalspannung senkrecht zur Schweißnahtachse
- σ_{\parallel} Normalspannung parallel zur Schweißnahtachse
- τ_{\perp} Schubspannung (in der Ebene der Kehlnahtfläche) senkrecht zur Schweißnahtachse
- τ_{\parallel} Schubspannung (in der Ebene der Kehlnahtfläche) parallel zur Schweißnahtachse.

(DIN EN 1993-1-8 Seite 47 4.5.3.2.(4))

σ_{\parallel} - Spannungen werden bei der Berechnung der Schweißnähte nach DIN 18800 und Eurocode 3 nicht berücksichtigt.

2.2.3.2 Nachweis von Schweißverbindungen nach DIN EN 1993

DIN EN 1993 unterscheidet zwei Nachweisverfahren für Kehlnähte: das richtungsbezogene Nachweisverfahren und das vereinfachte Nachweisverfahren. Der Nachweis ist nur nach einem der aufgeführten Verfahren zu führen. Es werden keine Nahtgüten bei der Berechnung berücksichtigt.

Richtungsbezogenes Nachweisverfahren

Nachweisformel:
$$[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)^{0,5}] \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$$
$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$$

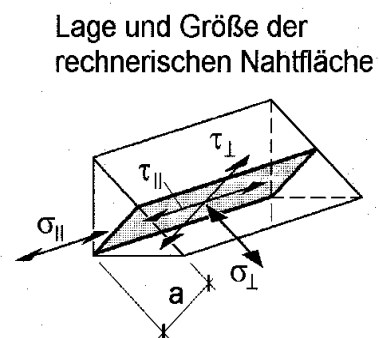
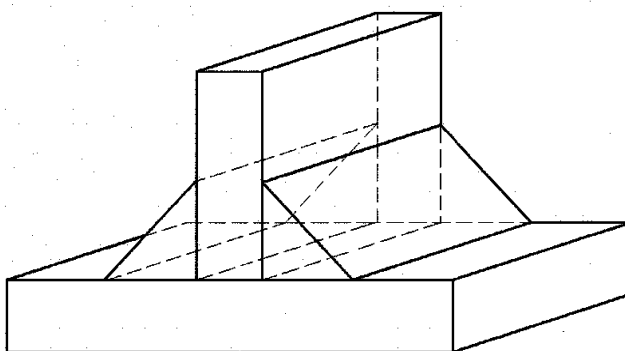


Abb.25 Schweißnahtspannungen nach Eurocode 3 (10) S. 320

Abb.25 zeigt die Lage der für die Berechnung anzunehmenden Schweißnahtfläche. „Diese Fläche und daher auch die Spannungskomponenten liegen im schrägen Schnitt durch die Schweißnaht.“ [(10) S.320]. Die vorhandenen Spannungen σ_{\perp} und τ_{\perp} sind auf die schräge Nahtfläche umzurechnen.

Vereinfachtes Verfahren

Nachweisformel: $F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a$$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad \text{„Scherfestigkeit der Schweißnaht“ (2)}$$

Das vereinfachte Verfahren ermittelt die Tragfähigkeit aus der Scherfestigkeit und dem a-Maß der Schweißnaht. Es werden die vorhandene Kraft die pro Längeneinheit wirkt mit der aufnehmbaren Kraft pro Längeneinheit verglichen.

$$F_{w,Ed} = \sqrt{F_{Ed}^2(\sigma_{\perp}) + F_{Ed}^2(\tau_{\parallel}) + F_{Ed}^2(\tau_{\perp})}$$

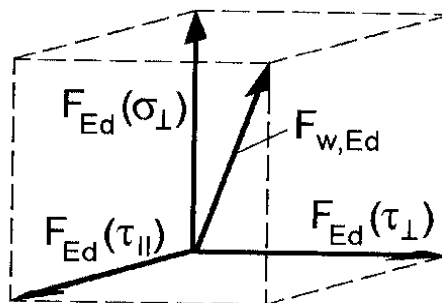


Abb.26 Beanspruchung einer Naht pro Längeneinheit (10) S.323

Korrelationsbeiwert β_w

Norm und Stahlsorte			Korrelationsbeiwert β_w
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

Tab.10 Korrelationsbeiwert (1) S.48 Tabelle 4.1

2.2.3.3 Nachweis von Schweißverbindungen nach DIN 18800

DIN 18800 bietet nur ein Nachweisverfahren für die Tragsicherheit von Schweißnähten. Der Spannungsnachweis kann im Gegensatz zum Nachweis nach DIN EN 1993 für Schweißnähte mit nachgewiesener und nicht nachgewiesener Nahtgüte geführt werden.

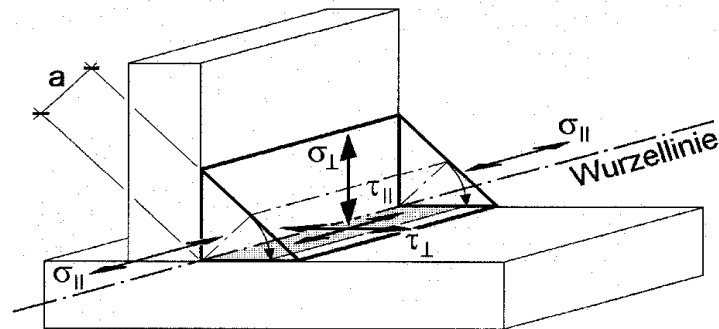


Abb. 27 Schweißnahtspannungen in der Anschlussebene einer Kehlnaht nach (10) Seite 298

Nachweis $\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1,0$ Grenzschnitznahtspannung $\sigma_{w,R,d} = \frac{\alpha_w \cdot f_{y,k}}{\gamma_M}$

$\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2}$ Vergleichsspannung

Abb.27 instruiert die Lage der anzunehmenden Schweißnahtfläche nach DIN 18800. Diese wird im Gegensatz zum DIN EN 1993 im Schenkel der Kehlnaht angenommen.

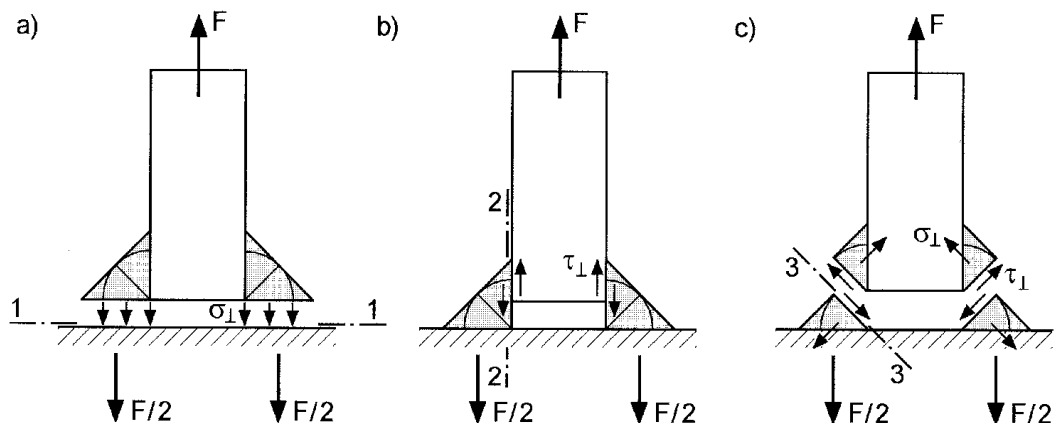


Abb.28 Mögliche Schnittflächen beim Versagen einer Doppelkehlnaht (10) Seite 297

„Nach DIN 18800 werden die Schweißnahtspannungen entweder im Schnitt 1-1 oder im Schnitt 2-2 berechnet. Schweißnahtspannungen im Schnitt 3-3 gemäß Abbildung 28 c) werden nach DIN 18800 nicht ermittelt. Beim Nachweis nach EC 3 sind diese jedoch von großer Bedeutung.“ [(10) S.296]

α_w - Werte

	1	2	3	4	5	6	7
	Nähte nach Tabelle 19	Nahtgüte	Bean- spruchungs art	S235 GS200, GS240, G17Mn5+QT	S275, P275	S355, P355 G20Mn5+N, G20Mn5+QT	S420, S450, S460
1	Zeilen 1 bis 4	alle Nahtgüten	Druck	1,0 ^a	1,0 ^a	1,0 ^a	1,0 ^a
2		Nahtgüte nachgewiesen	Zug, Schub				
3		Nahtgüte nicht nachgewiesen					
4	Zeilen 5 bis 15	alle Nahtgüten	Druck, Zug, Schub	0,95	0,85	0,80	0,70
^a Diese Nähte brauchen im Allgemeinen rechnerisch nicht nachgewiesen zu werden, da der Bauteilwiderstand maßgebend ist.							

Tab.11 Abminderungswert zur Berücksichtigung der Schweißnahtgüte (3) S.88 Tabelle 21

„Der Nachweis der Nahtgüte gilt als erbracht, wenn bei der Durchstrahlungs- oder Ultraschallprüfung von mindestens 10% der Nähte ein einwandfreier Befund festgestellt wird.“ [(16) S.4/45]

Vergleich der rechnerischen Schweißnahtspannungen

	DIN 18800	DIN EN 1993-1-8
Schubspannung τ_{\parallel}	$\tau_{\parallel} = \frac{V_z}{A_w}$	$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z,Ed}}{A_w}$
Normalspannung σ_{\perp}	$\sigma_{\perp} = \frac{N}{A_w} + \frac{M}{I_w} \cdot z$	$\sigma_{\perp} = \left(\frac{N}{A_w} + \frac{M}{I_w} \cdot z \right) \cdot \sin(45^\circ)$
Schubspannung τ_{\perp}	$\tau_{\perp} = \frac{N}{A_w} + \frac{M}{I_w} \cdot z$	$\tau_{\perp} = \left(\frac{N}{A_w} + \frac{M}{I_w} \cdot z \right) \cdot \cos(45^\circ)$
Normalspannung σ_{\parallel}	wird nicht berücksichtigt	wird nicht berücksichtigt

Tab.12 Gegenüberstellung der Schweißnahtspannungen

Tab. 12 zeigt die Schweißnahtspannungen im direkten Vergleich. Die Berechnung der Spannungskomponenten verändert sich nicht, jedoch ist nach DIN EN 1993 eine Umrechnung der Spannungen auf die schräge Fläche nach Abb.25 notwendig.

Vergleich der Nachweisführung nach DIN 18800 und DIN EN 1993

DIN 18800	DIN EN 1993
<p>Nachweis der Schweißnahtspannung:</p> $\frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,d}} \leq 1,0$ <p>Vergleichspannung:</p> $\sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2}$	<p>Richtungsbezogenes Verfahren:</p> $[\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)^{0,5}] \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$ $\sigma_{\perp} \leq 0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$ <p>vereinfachtes Verfahren: $F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$</p>
<p>Grenzsweißnahtspannung:</p> $\sigma_{w,R,d} = \frac{\alpha_w \cdot f_{y,k}}{\gamma_M}$	<p>Beanspruchbarkeit der Schweißnähte:</p> <p>richtungsbezogen: $f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$</p> <p>für die Normalspannung: $0,9 \cdot f_u / \gamma_{M2}$</p> <p>Vereinfacht: $F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a$</p> $f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$
$f_{y,k}$ = Streckgrenze des Werkstoffs Tab.8	f_u = Zugfestigkeit des Werkstoffs Tab.7
$\gamma_M = 1,1$ Teilsicherheit für Festigkeit und Steifigkeit	$\gamma_{M2} = 1,25$ Teilsicherheit für Anschlüsse (Schraub- Schweißverbindungen)
α_w = Zur Berücksichtigung des Einflusses der Nahtgüte Tab.10	β_w = Korrelationsbeiwert für Kehlnähte Tab.11

Tab.13 Gegenüberstellung der Nachweise für Schweißverbindungen

Die Nachweisführung von Kehlnähte nach DIN 18800 und DIN EN 1993 ist gleichermaßen durch einen Spannungsnachweis möglich. Für den Nachweis der Tragfähigkeit von Kehlnähten nach DIN 18800 ist eine Festlegung zu treffen, ob die Schweißnahtgüte nachgewiesen ist, oder ob die aufnehmbare Grenzspannung der Schweißnähte durch einen Abminderungsbeiwert angepasst wird. Im Vergleich hierzu wird nach DIN EN 1993 die Nahtgüte nicht berücksichtigt. Es wird mittels eines Korrelationsbeiwert die Beanspruchbarkeit der Schweißnähte abgemindert. Tab.10 zeigt eine direkte Gegenüberstellung der Nachweise und Formelzeichen. DIN EN 1993 bietet im Vergleich zu DIN 18800 ein zusätzliches vereinfachtes Nachweisverfahren an, welches die Tragfähigkeit bezogen auf die Längeneinheit mit der Beanspruchung pro Längeneinheit vergleicht. DIN 18800 nutze bislang die Streckgrenze des Grundwerkstoffs um die Beanspruchbarkeit der Schweißnähte zu berechnen. In DIN EN 1993 wird die Zugfestigkeit zur Berechnung genutzt.

2.2.4 Gegenüberstellung der Nachweise von Schraubenverbindung DIN EN 1993 und DIN 18800

Schraubenverbindungen sind im Stahlbau die wichtigsten lösbaren Verbindungen und für nahezu alle Anschlusskonstruktionen von grundlegender Bedeutung. Für den Nachweis geschraubter Verbindungen nach DIN EN 1993 wird eine Einteilung in fünf Kategorien vorgenommen. Schraubenkategorien nach [(8)S.201 4.8].

- „Beanspruchung quer zur Schraubenachse :“

Kategorie A: Scher-Lochleibungs (SL-) Verbindungen.

Kategorie B: Gleitfeste Verbindungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Diese Verbindung darf unter Gebrauchslasten nicht gleiten,wohl aber im Tragzustand,
– wo sie als SL-Verbindung wirkt.

Kategorie C: Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit. Bei dieser Verbindung wird verlangt, dass kein Gleiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit auftritt.

- Beanspruchung parallel zur Schraubenachse auf Zug:

Kategorie D: Nicht vorgespannte Verbindungen (nicht erlaubt bei häufiger veränderlicher Zugbeanspruchung und bei Lastumkehr).

Kategorie E: Vorspannte Verbindungen“

Die im Stahlbau aufgrund ihrer Wirtschaftlichkeit am häufigsten zur Verwendung kommenden Schraubenverbindungen sind SL-Verbindungen der Kategorie A. Querkraftbeanspruchte Trägerverbindungen werden in der Regel mit SL-Verbindungen ausgeführt. Der Vergleich der Schraubenverbindungen wird auf SL-Verbindungen eingegrenzt.

2.2.4.1 Wirkungsweise Schraubenverbindungen

Die Wirkungsweise der Schraubenverbindung ist im Fall der SL-Verbindung im Normenvergleich identisch und wird allgemein erläutert.

Scher-Lochleibverbindungen

Bei Scher-Lochleibverbindungen können grundsätzlich drei Versagensarten maßgebend werden. Abscherung der Schrauben, Lochleibung des Grundwerkstoffs und Versagen des lochgeschwächten Querschnitts. Darstellung an einer einschnittigen Verbindung in Abb.29.

1. Abscherung: „Wenn bei großen Scherkräften die Schubspannungen vom Schraubenschaft nicht aufgenommen werden können, tritt Abscheren der Schrauben auf ,d.h. die Tragfähigkeit der Schraube ist erschöpft .“
[(10)S. 208]
2. Lochleibung: „Bei dünnen Blechen kann der Lochleibungsdruck sehr groß werden, sodass bei Möglichkeit b ein unzulässiges Aufweiten der Löcher das maßgebende Versagenskriterium ist.“[(10) S.208]
3. Grundwerkstoff: „ Die dritte Versagensart ergibt sich aus der Lochschwächung der Bleche. Wenn die Rand- und Lochabstände der Schrauben gering sind, ergeben sich im Nettoquerschnitt hohe Spannungen, die die Ursache für ein Reißen des gelochten Bleches sein können.“
[(10) S. 208]

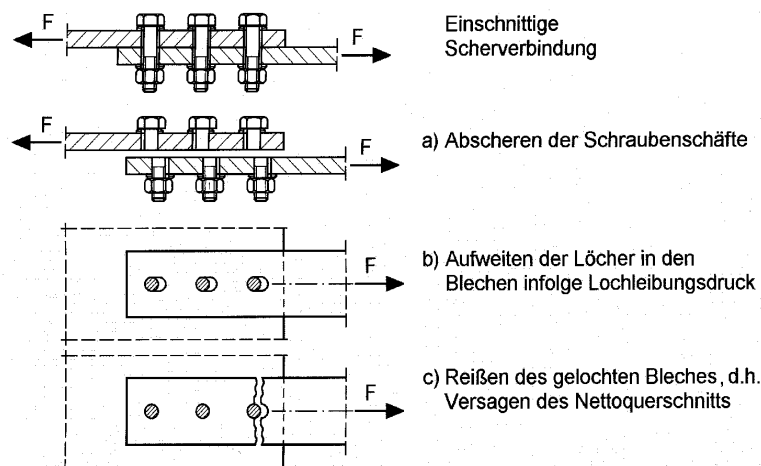


Abb.29 Versagensarten bei Scher-Lochleibverbindungen (10)S.208

2.2.4.2 Schraubennachweis nach DIN EN 1993

Festigkeiten der Verbindungsmittel

Schraubenfestigkeitsklasse	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

Tab.14 Graue Felder laut NA-Anhang zulässig Tab. (2) S.24

Übersicht zur Nachweisführung nach DIN EN 1993

Kategorie	Nachweiskriterium	Anmerkungen
Scherverbindungen		
A Scher-/Lochleibungsverbindung	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Keine Vorspannung erforderlich. Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9 dürfen verwendet werden.
B Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	In der Regel sind hochfeste Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 zu verwenden. Gleitwiderstand für Gebrauchstauglichkeit siehe 3.9.
C Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\langle AC \rangle \Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd} \langle AC \rangle$	In der Regel sind hochfeste Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 zu verwenden. Gleitwiderstand für Tragfähigkeit siehe 3.9. $N_{net,Rd}$ siehe 3.4.1(1)c).
Zugverbindungen		
D Nicht vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Keine Vorspannung erforderlich. Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9 dürfen verwendet werden. $B_{p,Rd}$ siehe Tabelle 3.4.
E Vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	In der Regel sind hochfeste Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 zu verwenden. $B_{p,Rd}$ siehe Tabelle 3.4.
Der Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft $F_{t,Ed}$ sollte Beiträge aus Abstützkräften berücksichtigen, siehe 3.11. Schrauben unter Scher- und Zugbeanspruchung gelten in der Regel die Kriterien, die in Tabelle 3.4 angegeben sind.		

Tab.15 Kategorien der Schraubverbindungen (2) S.26

In Tab.14 werden die Festigkeiten der Verbindungsmittel aufgelistet, die nach DIN EN 1993 zur Verwendung kommen, um Schraubverbindungen auszuführen. Der Nationale Anhang für Deutschland schränkt die Auswahl auf die grau markierten Felder ein. Die Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6, 5.6, 8.8, 10.9 sind für DIN EN 1993, als auch DIN 18800 zu verwenden und sind mit ihrer Streckgrenze und Zugfestigkeit identisch.

Konstruktive Forderungen:

Nennlochspiel: $\Delta d = d_0 - d$

d_0 – Lochdurchmesser

d – Schraubendurchmesser

Nenn Durchmesser d der Schraube oder des Bolzens (mm)	12	14	16	18	20	22	24	27 und größer
Normale runde Löcher ^a	1 ^{b, c}		2					3
Übergroße runde Löcher	3		4				6	8
Kurze Langlöcher (in der Länge) ^d	4		6				8	10
Lange Langlöcher (in der Länge) ^d	1,5 d							
<p>a Bei Anwendungsfällen, wie z. B. bei Türmen und Masten, muss das Nennlochspiel für normale runde Löcher um 0,5 mm abgemindert werden, sofern nichts anderes festgelegt wird.</p> <p>b Bei beschichteten Verbindungsmitteln kann das Nennlochspiel von 1 mm um die Überzugdicke des Verbindungsmittels erhöht werden.</p> <p>c Unter Bedingungen nach EN 1993-1-8 dürfen Schrauben mit Nenndurchmessern von 12 und 14 mm oder Senkschrauben auch mit 2 mm Lochspiel eingesetzt werden.</p> <p>d Bei Schrauben in Langlöchern muss das Nennlochspiel in Querrichtung gleich dem für normale runde Löcher festgelegten Lochspiel beim entsprechenden Durchmesser sein.</p>								

Tab.16 Nennlochspiel Tab. [9] S.40

Rand und Lochabstände :

Rand- bzw. Lochabstände	kleinste Abstände	größte Abstände
Löcher, → : p_1	$2,2 \cdot d_0$	200 mm oder $14 \cdot t$
Ränder, → : e_1	$1,2 \cdot d_0$	$40 \text{ mm} + 4 \cdot t$
Ränder, ↓ : e_2	$1,2 \cdot d_0$	$40 \text{ mm} + 4 \cdot t$
Löcher, ↓ : p_2	$2,4 \cdot d_0$	200 mm oder $14 \cdot t$

Tab. 17 Rand- und Lochabstände Tab. [10] S.242

Nennlochspiel, Rand- und Lochabstände sind so zu wählen, dass sie innerhalb der konstruktiven Vorgaben liegen, um ausreichende Lochleibungskräfte zu erreichen.

Ermittlung der Grenzabscherkraft je Scherfuge

f_{ub} - Zugfestigkeit der Schraube nach Tabelle 14 $\gamma_{M2}=1,25$

Schraubenschaft in der Scherfuge
$$F_{v,Rd} = \frac{a_v \cdot A \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

A – Bruttoquerschnitt der Schraube nach Tabelle 13

$a_v=0,6$

Schraubengewinde in der Scherfuge
$$F_{v,Rd} = \frac{a_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

A_s - Spannungsquerschnitt der Schraube siehe Tabelle 18

$a_v=0,6$ Festigkeitsklasse 4.6, 5.6, 8.8

$a_v=0,5$ Festigkeitsklasse 10.9

Nachweis der Abscherkraft:
$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0$$

Im Nachweis ist die Grenzabscherkraft mit der Anzahl der Scherfugen zu multiplizieren.

Nach Abb.31

Querschnittswerte der Schrauben

Schraubengröße	→	M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
Schaftquerschnitt	A	1,13	2,01	3,14	3,80	4,52	5,73	7,07	10,18
dto. Passschraube	A	1,33	2,27	3,46	4,15	4,91	6,16	7,55	10,75
Spannungsquerschnitt	A_s	0,843	1,57	2,45	3,03	3,53	4,59	5,61	8,17

Tab.18 Querschnittswerte der Schrauben (5) Seite 8.82

Die Ermittlung der Abscherkräfte für gängige Schraubengrößen, abhängig von der Festigkeit der zur Anwendung kommenden Schrauben, ist auch tabellarisch möglich.

Festig- keit	Schraubengröße					
	M12	M16	M20	M24	M27	M30
glatter Teil des Schaftes in der Scherfuge						
4.6	21,7	38,6	60,3	86,8	110,0	135,7
5.6	27,1	48,2	75,4	108,5	137,5	169,7
8.8	43,4	77,2	120,6	173,6	220,0	271,5
10.9	54,3	96,5	150,7	217,0	275,0	339,4
Gewinde in der Scherfuge						
4.6	16,2	30,1	47,0	67,8	88,1	107,7
5.6	20,2	37,7	58,8	84,7	110,2	134,6
8.8	32,4	60,3	94,1	135,6	176,3	215,4
10.9	33,7	62,8	98,0	141,2	183,6	224,4

Tab.19 Grenzabscherkräfte je Scherfläche (10) S.244

Ermittlung der Grenzlochleibungskraft:

$$\text{Grenzlochleibungskraft } F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot t \cdot d \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$\alpha_b; k_1$ nach Tab. 20

t - Blechdicke

d - Schaftdurchmesser

f_u - Zugfestigkeit der Stahlsorte

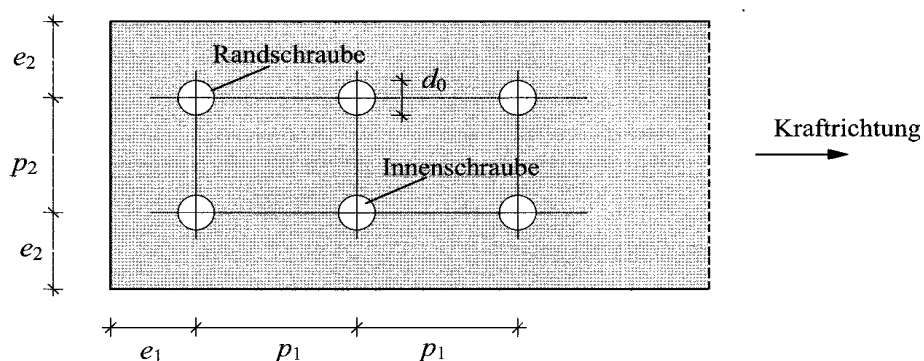


Abb.30 Lage der Schrauben, Darstellung der Rand- und Lochabstände (7) S.18

Für die Ermittlung der Grenzlochleibungskräfte sind die Beiwerte α_b und k_1 aus den Rand- und Lochabständen zu ermitteln.

	Innenschraube	Randschraube
in Kraftrichtung	kleinster Wert von: $\alpha_b = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4};$ $\alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u};$ $\alpha_b = 1,0$	kleinster Wert von: $\alpha_b = \frac{e_1}{3 \cdot d_0};$ $\alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u};$ $\alpha_b = 1,0$
quer zur Kraftrichtung	kleinster Wert von: $k_1 = \frac{1,4 \cdot p_2}{d_0} - 1,7;$ $k_1 = 2,5$	kleinster Wert von: $k_1 = \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7;$ $k_1 = \frac{1,4 \cdot p_2}{d_0} - 1,7;$ $k_1 = 2,5$

Tab.20 Gleichung zur Berechnung der Beiwerte $\alpha_b; k_1$ Tabelle [7] S.19 1.5.3

Nachweis der Grenzlochleibungskraft: $\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1,0$

Eine Ermittlung der Grenzlochleibungskräfte abhängig vom Nennlochspiel der Schraubenlöcher und dem Verwendeten Werkstoff ist möglich siehe Anhang Tabelle 47-49.

2.2.4.3 Schraubennachweis nach DIN 18800

Konstruktive Forderungen

Nennlochspiel: $0,3 < \Delta d \leq 2,0$

Rand und Lochabstände :

Rand- bzw. Loch-abstände	kleinste Abstände	größte Abstände	größte Lochleibungskraft für
Löcher →: e	$2,2 d_L$	$6 d_L$ oder $12 t$	$3,5 d_L$
Ränder →: e_1	$1,2 d_L$	$3 d_L$ oder $6 t$	$3,0 d_L$
Ränder ↓: e_2	$1,2 d_L$	$3 d_L$ oder $6 t$	$1,5 d_L$
Löcher ↓: e_3	$2,4 d_L$	$6 d_L$ oder $12 t$	$3,0 d_L$

Bei gestanzten Löchern sind die kleinsten Randabstände $1,5 d_L$, die kleinsten Lochabstände $3,0 d_L$.

Tab.21 Rand und Lochabstände (10) S.226

Ermittlung der Grenzabscherkraft je Scherfuge:

$$\text{Grenzabscherkraft } V_{a,R,d} = \frac{A \cdot \alpha_a \cdot f_{u,b,k}}{\gamma_M} \quad A = \text{vorhandener Abscherquerschnitt}$$

mit: (A_{Sch} oder A_{Sp} nach Tab. 18)

$$\alpha_a = 0,6 \quad \text{Festigkeitsklasse 4.6, 5.6 und 8.8}$$

$$\alpha_a = 0,55 \quad \text{Festigkeitsklasse 10.9 (Schaft in der Scherfuge)}$$

$$\alpha_a = 0,44 \quad \text{Festigkeitsklasse 10.9 (Gewinde in der Scherfuge)}$$

$$f_{u,b,k} - \text{Zugfestigkeit der Schraube nach Tab 14}$$

$$\gamma_M = 1,0$$

$$\text{Nachweis der Grenzabscherkraft } \frac{V_{Ed}}{\sum V_{a,R,d}} \leq 1,0$$

Festigkeit der Verbindungsmittel

	1	2	3
	Festigkeitsklasse	Streckgrenze $f_{y,b,k}$ N/mm ²	Zugfestigkeit $f_{u,b,k}$ N/mm ²
1	4.6	240	400
2	5.6	300	500
3	8.8	640	800
4	10.9	900	1 000

Tab.22 Festigkeiten zulässiger Verbindungsmittel (3) Seite 20

Grenzabscherkräfte

Ausführungsform	Festig- keit	Schraubengröße					
		M12	M16	M20	M24	M27	M30
glatter Teil des Schaftes in der Scherfuge							
SL	4.6	24,7	43,9	68,5	98,6	125,0	154,3
SL	5.6	30,8	54,8	85,6	123,3	156,3	192,8
SLP		36,2	61,9	94,4	133,9	168,0	205,9
SL, SLV	8.8	49,4	87,7	137,0	197,2	250,0	308,5
SL, SLV, GV	10.9	56,6	100,5	157,0	226,0	286,5	353,5
SLP, SLVP, GVP		66,4	113,5	173,0	245,5	308,0	377,5
Gewinde in der Scherfuge							
SL	4.6	18,4	34,3	53,5	77,0	100,1	122,4
SL	5.6	23,0	42,8	66,8	96,3	125,2	153,0
SL, SLV	8.8	36,8	68,5	106,9	154,0	200,3	244,8
SL, SLV, GV	10.9	33,7	62,8	98,0	141,2	183,6	224,4

Tab.23 Ermittlung der Grenzabscherkräfte (10) S.227

Ermittlung der Grenzlochleibungskraft

$$\text{Grenzlochleibungskraft } V_{l,R,d} = \frac{t \cdot d_{\text{Sch}} \cdot \alpha_L \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} \quad t - \text{Blechdicke}$$

mit:

- d_{sch} - Schaftdurchmesser
- $f_{y,k}$ - Streckgrenze der Stahlsorte
- $\gamma_M = 1,0$

Ermittlung des Beiwertes α_L

Maßgebender Abstand	Bedingungen für Abstände in Krafrichtung	Bedingungen für Abstände \perp zur Krafrichtung $e_2 \geq 1,5 d_L$ und $e_3 \geq 3,0 d_L$ $e_2 = 1,2 d_L$ und $e_3 = 2,4 d_L$	
Randabstand in Krafrichtung	$1,2 d_L \leq e_1 \leq 3,0 d_L$	$\alpha_1 = 1,1 \cdot e_1 / d_L - 0,3$	$\alpha_1 = 0,73 \cdot e_1 / d_L - 0,2$
Lochabstand in Krafrichtung	$2,2 d_L \leq e \leq 3,5 d_L$	$\alpha_1 = 1,08 \cdot e / d_L - 0,77$	$\alpha_1 = 0,72 \cdot e / d_L - 0,51$
Unabhängig von den tatsächlichen Abständen darf e_1 höchstens mit $3 d_L$ und e höchstens mit $3,5 d_L$ in Rechnung gestellt werden. Für Zwischenwerte von e_2 und e_3 darf linear interpoliert werden.			

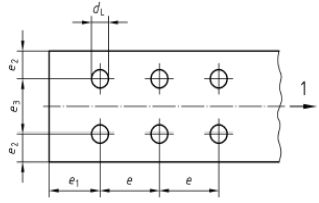
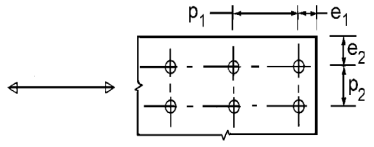
Tab.24 Bestimmungsgleichungen für den Beiwert zur Ermittlung der Lochleibungskraft (5) S.8.73

Nachweis der Grenzlochleibungskraft
$$\frac{V_{Ed}}{\sum V_{l,R,d}} \leq 1,0$$

Nachweis der Schraubenverbindungen im Vergleich

	DIN 18800	DIN EN 1993-1-8
Nachweis der Schraubenverbindungen	$\frac{V_{Ed}}{\sum V_{R,d}} \leq 1,0$	$\frac{F_{Ed}}{\sum F_{Rd}} \leq 1,0$

Vergleich der Rand- und Lochabstände

	DIN 18800	DIN EN 1993-1-8
Skizzenhafte Darstellung der Lochabstände		
Lochdurchmesser	d_L	d_0
Randabstand in Krafrichtung	e_1	e_1
Lochabstand in Krafrichtung	e	p_1
Randabstand senkrecht zur Krafrichtung	e_2	e_2
Lochabstand senkrecht zur Krafrichtung	e_3	p_2

Tab.25 Rand und Lochabstände im Vergleich

Der Vergleich des Nachweises von Schraubenverbindungen und die tabellarische Gegenüberstellung der Formelzeichen macht die Unterschiede im Normenvergleich deutlich. Die konstruktiv einzuhaltenden Rand- und Lochabstände sind nach DIN 18800 und DIN EN 1993 für die minimal einzuhaltenden Werte identisch (Vergleiche Tabelle 17 und Tabelle 21). Die maximalen Werte der Abstände, als auch die Formelzeichenzeichen werden nach DIN EN 1993 neu festgelegt

Vergleich der Ermittlung der Grenzabscherkraft:

Die Grenzabscherkraft wird mit der Anzahl der Scherflächen multipliziert, die bei Beanspruchung auf Abscherung zur Kraftübertragung dienen.

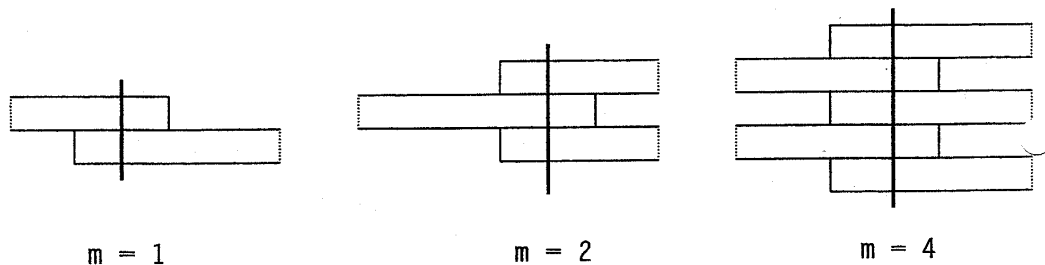


Abb.31 Beispielhafte Darstellung der Anzahl der Scherflächen nach DIN 18800 (16) Seite 4.16

Ermittlung der Grenzabscherkraft	$V_{a,R,d} = \frac{A \cdot \alpha_a \cdot f_{u,b,k}}{\gamma_M}$	$F_{v,Rd} = \frac{a_v \cdot A \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}}$
Scherflächen (Anzahl)	m	n
Streckgrenze des Schraubenwerkstoffs (abhängig von der Festigkeitsklasse)	$f_{y,b,k}$	$f_{y,b}$
Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffs (abhängig von der Festigkeitsklasse)	$f_{u,b,k}$	$f_{u,b}$
Schraubenquerschnittsfläche		A

(Schaft in der Scherfuge)	A_{Sch}	
Gewinde in der Scherfuge (Spannungsquerschnitt)	A_{Sp}	A_S
Beiwert zur Ermittlung der Abscherkraft	$\alpha_a=0,6$; 4.6, 5.6, 8.8 (Schaft in der Scherfuge)	$a_v=0,6$ (Schaft in der Scherfuge)
	$\alpha_a=0,55$; 10.9 (Schaft in der Scherfuge)	$a_v=0,6$; 4.6, 5.6, 8.8 (Gewinde in der Scherfuge)
	$\alpha_a=0,44$; 10.9 (Gewinde in der Scherfuge)	$a_v=0,5$; 10.9 (Gewinde in der Scherfuge)
Teilsicherheit	$\gamma_M=1,1$	$\gamma_{M2}=1,25$

Tab.26 Gegenüberstellung der Ermittlung der Grenzabscherkraft

Vergleich der Ermittlung der Grenzlochleibkraft

Ermittlung der Grenzlochleibkraft	$V_{l,R,d} = \frac{t \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_L \cdot f_{y,k}}{\gamma_M}$	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot t \cdot d \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$
Beanspruchbarkeit des Grundwerkstoff	Streckgrenze $f_{y,k}$	Zugfestigkeit f_u
Bauteildicke	t	t
Durchmesser der Schraube	d_{Sch}	d
Beiwerte zur Ermittlung der Grenzlochleibkraft	α_L - in und senkrecht zur Kraftrichtung	α_b - in Kraftrichtung k_1 - senkrecht zu Kraftr.
Teilsicherheit	$\gamma_M=1,1$	$\gamma_{M2}=1,25$

Tab.27 Gegenüberstellung der Ermittlung der Grenzlochleibkraft

Vergleich der Berücksichtigung der Lochschwächung des Grundwerkstoffs (S 235)

Die Lochschwächung des Grundwerkstoffs ist für die zugbeanspruchten Querschnittsteile zu überprüfen. Werden die Grenzbedingungen nicht eingehalten, muss der Nachweis der Tragsicherheit mit dem durch Schraubenlöcher geschwächten Querschnitt geführt werden.

Grenzbedingung	$\frac{A_{\text{Brutto}}}{A_{\text{Netto}}} < 1,2$	$\frac{A_{\text{net}} \cdot 0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A \cdot f_u}{\gamma_{M0}}$
Bruttoquerschnittsfläche	A_{Brutto}	A
Nettoquerschnittsfläche (Lochabzug im kritischen Schnitt)	A_{Netto}	A_{net}
Teilsicherheit		$\gamma_{M2} = 1,25$; $\gamma_{M0} = 1,0$

Tab.28 Gegenüberstellung der Ermittlung der Lochschwächung

Der Tabellarische Vergleich der Ermittlung der Grenzabscherkräfte macht deutlich, dass nach DIN EN 1993 die Beiwerte zur Berücksichtigung der Festigkeit der Schrauben und die Lage des Gewinde bzw. Schaft in der Scherfuge nicht so differenziert eingeteilt werden, wie es nach DIN 18800 bislang vorgenommen wurde. Für die Ermittlung der Grenzlochleibkraft wird nach DIN EN 1993 und DIN 18800 eine Berücksichtigung der Schraubenabstände in Kraftrichtung durch die Ermittlung eines Beiwertes vorgenommen. DIN EN 1993 sieht weiterhin einen Beiwert vor, welches den Schraubenabstand senkrecht zu Kraftrichtung berücksichtigt.

2.2.5 Ermittlung von Schraubenkräften für Schraubengruppen

Die Ermittlung der Kräfte auf die einzelnen Verbindungsmittel ist abhängig von der konstruktiven Ausführung der Anschlüsse und wird für den biegesteifen Laschenstoß und die gelenkigen Anschlüsse mit Fahnblech und Doppelwinkeln allgemein erläutert.

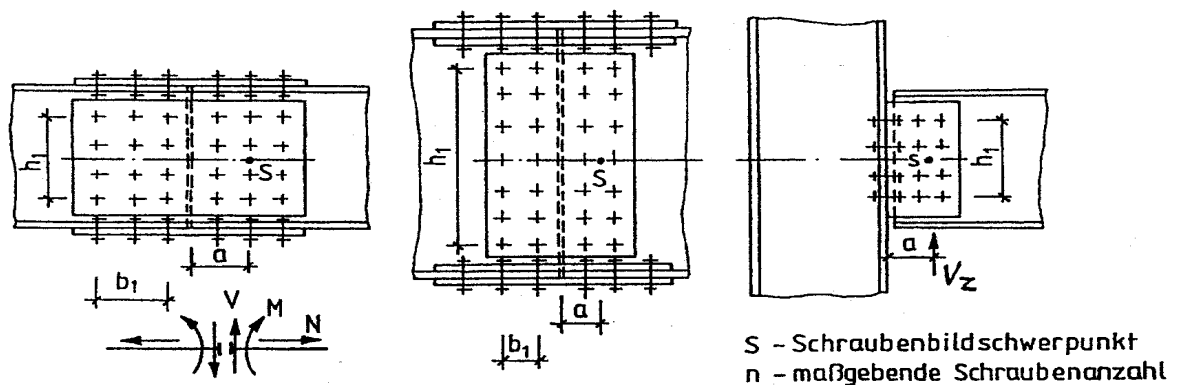


Abb.32 Schnittgrößen an Schraubengruppen (16) Seite 6.43

„Wird ein Anschluss durch ein Biegemoment belastet, dann werden die Verbindungsmittel nicht gleichmäßig beansprucht, sondern die vom Schwerpunkt der Verbindungsmittel am weitesten entfernte Schraube erhält die größte Kraft.“ [(15) S.89]. Abb.32 zeigt Anschlüsse, deren Schraubverbindungen eine Belastung durch Biegemomente erfahren.

Liegt der Schwerpunkt des Schraubenbildes außerhalb der Wirkungslinie der Querkraft, (Fahnblech- und Doppelwinkelanschluss) entsteht ein Exzentrizitätsmoment, welches eine zusätzliche Beanspruchung auf die Schrauben erzeugt. Die Schnittgrößenverteilung, die bei Laschenstößen angenommen wird, zeigt das eine anteilige Momentenbeanspruchung auf die Stegfläche berechnet wird. Das Stegmoment wird durch die Schraubverbindungen in den Stegblechen übertragen und erzeugt zusätzlich zur wirkenden Normalkraft und der gesamten Querkraft eine Beanspruchung der Schrauben. Das I_p - und das vereinfachte f – Verfahren als Sonderfall des I_p - Verfahren zur Bestimmung der Schraubenkräfte nimmt eine elastische Verteilung bzw. „Verteilung proportional zum Abstand vom Rotationszentrum“ [(10) S. 255] vor und ist sowohl für Berechnungen nach DIN 18800 und DIN EN 1993 anwendbar. Die nach DIN 18800 und DIN EN 1993 unter Berücksichtigung von Grenzbedingungen anwendbaren plastischen Berechnungsmethoden für die Schraubenkräfte werden nicht weiter erläutert.

2.2.5.1 I_p - Verfahren [(16) Seite 6/42 , 6/43]

Das I_p - Verfahren gilt allgemein und kann unabhängig von der konstruktiven Ausbildung des Schraubenbildes angewendet werden. Die Schraubenkräfte gedrungener und schmaler Anschlüsse lassen sich bestimmen.

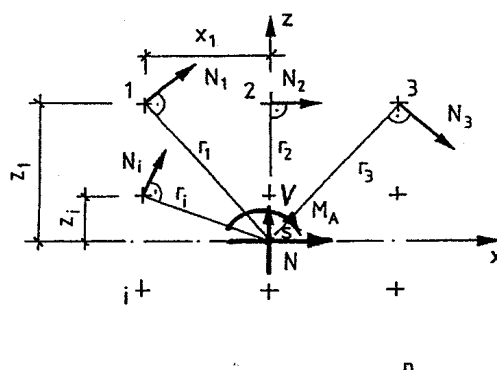
polares Flächenmoment 2.Grades $I_p = \sum r_i^2 = \sum z_i^2 + \sum x_i^2$

Die im Steg wirkende Normalkraft und Querkraft werden anteilig auf die Anzahl n Schrauben im Steg aufgeteilt.

Beanspruchung pro Verbindungsmittel aus wirkender Querkraft $N_V = \frac{V}{n}$

Beanspruchung pro Verbindungsmittel aus wirkender Normalkraft $N_N = \frac{N}{n}$

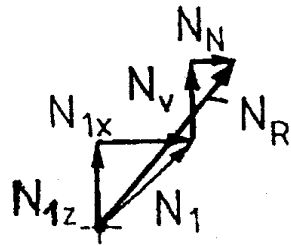
Aus dem Anschlussmoment M_x ergibt sich (für Laschenstöße M_{Steg} / gelenkige Anschlüsse M_1):



$$N_{1x} = \frac{M_x \cdot \max z}{I_p}$$

$$N_{1z} = \frac{M_x \cdot \max x}{I_p}$$

Schraubenkraft die maßgebend wird:

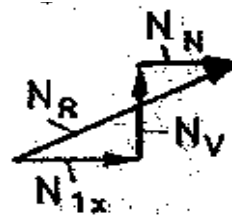
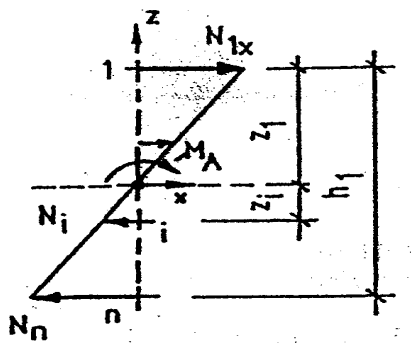


$$N_R = \sqrt{(N_{1x} + N_N)^2 + (N_{1z} + N_V)^2}$$

Abb.33 Schraubenkräfte ermittelt durch das I_p -Verfahren(16) S. 6/43

2.2.5.2 f-Verfahren [(16) Seite 6/44]

Wenn schmale hohe Schraubenbilder mit dem Verhältniss $\frac{h_1}{b_1} > 3$ vorhanden sind, kann das vereinfachte f-Verfahren zur Ermittlung der maximalen Schraubenkräfte verwendet werden. „Bei einem schmalen, hohen Anschlussbild ist x klein gegenüber z und kann näherungsweise vernachlässigt werden. Die Kraftkomponenten errechnen sich dann vereinfacht zu“ [(15) S.92].



$$N_R = \sqrt{(N_{1x} + N_N)^2 + N_V^2}$$

Abb.34 Schraubenkräfte ermittelt durch das f-Verfahren(16) S.6/44

mit: $N_V = \frac{V}{n}$; $N_N = \frac{N}{n}$; $N_{1x} = \frac{M_x}{h_1} \cdot f$

f-Wert nach Tabelle 29

Schraubenzahl einer Reihe	+	++	+++	++++
2	1,0000	0,5000	0,3333	0,2500
3	1,0000	0,5000	0,3333	0,2500
4	0,9000	0,4500	0,3000	0,2250
5	0,8000	0,4000	0,2667	0,2000
6	0,7143	0,3571	0,2381	0,1786
7	0,6429	0,3214	0,2143	0,1607
8	0,5833	0,2917	0,1944	0,1458
9	0,5333	0,2667	0,1778	0,1333
10	0,4909	0,2455	0,1636	0,1227
11	0,4545	0,2273	0,1515	0,1136
12	0,4231	0,2115	0,1410	0,1058

Tab.29 f-Werte (16) S.6/44

2.2.6 Nachweis auf Blockversagen von Schraubengruppen nach DIN EN 1993

Eine Neuerung im Nachweisverfahren nach DIN EN 1993 ist der Nachweis geschraubter Verbindungen auf Blockversagen von Schraubengruppen nach [(4) S.8.60]. „Das Blockversagen wird durch das Schubversagen des Blechs (in Krafrichtung) in Kombination mit dem Zugversagen des Blechs am Ende der Schraubengruppe (senkrecht zur Kraft) verursacht.“[(10) S.252]. Das Blockversagen von Schraubengruppen wird sowohl für Knotenbleche (zentrische Belastung) als auch für Träger, die mit Schraubverbindungen am Ende befestigt sind (exzentrische Belastung), nachgewiesen.

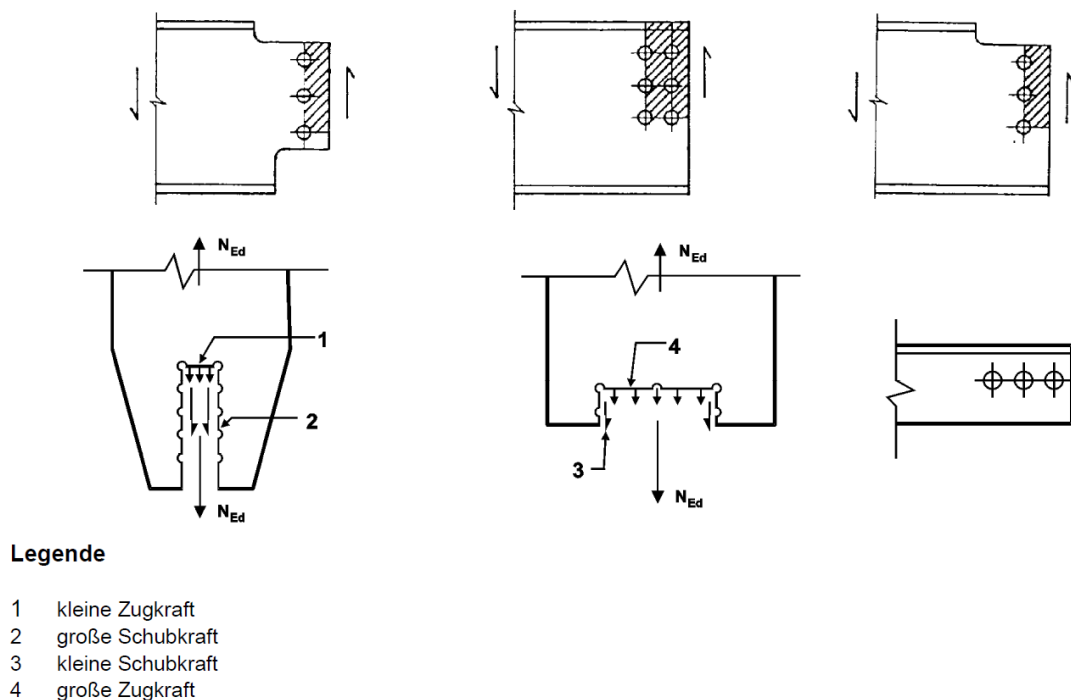


Abb.35 Blockversagen von Schraubengruppen an Trägerenden und Knotenblechen (2) S.37

Nachweis:

$$N_{Ed} \leq V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad \text{Knotenbleche unter zentrischer Last}$$

$$V_{Ed} \leq V_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \quad \text{Trägerenden unter exzentrischer Last}$$

A_{nt} - Fläche zugbeanspruchter Nettoquerschnitt nach Tabelle 30

A_{nv} - Fläche schubbeanspruchter Nettoquerschnitt nach Tabelle 30

$$\gamma_{M0} = 1,0; \gamma_{M2} = 1,25$$

	<p>Symmetrische Schraubengruppe unter zentrischer Belastung: ($V_{eff,1,Rd}$)</p> $A_{nt} = [L_h - (n_v - 1,0) \cdot d_0] \cdot t$ $A_{nv} = 2 \cdot [L_v - (n_h - 0,5) \cdot d_0] \cdot t$ <p>d_0, n_h und n_v siehe unten</p>
	<p>Schraubengruppe unter exzentrischer Belastung: ($V_{eff,2,Rd}$)</p> $A_{nt} = [a_2 - (n_h - 0,5) \cdot d_0] \cdot t$ $A_{nv} = [a_1 + L_v - (n_v - 0,5) \cdot d_0] \cdot t$ <p>d_0 Lochdurchmesser n_h Anzahl der Schrauben in horizontaler Richtung n_v Anzahl der Schrauben in vertikaler Richtung t Blechstärke</p>

Tab.30 Nettoquerschnittsflächen (4) S. 8.60

Das Blockversagen ist als neues Nachweisverfahren in der DIN EN 1993 eingeführt und wurde nach DIN 18800 nicht berücksichtigt. Es ist für eine Vielzahl von gelenkigen Anschlüssen in der Nachweisführung zu berücksichtigen.

2.2.7 Gegenüberstellung der Nachweise der Lasteinleitung in Trägerenden DIN EN 1993 und DIN 18800

Die Lasteinleitung in Trägerenden ist bei der Ausbildung von Knaggenanschlüssen von Bedeutung. Es wird untersucht, ob die vorhandenen Querkkräfte in den Trägersteg eingeleitet werden können, ohne das Steifen vorzusehen sind.

2.2.7.1 Lasteinleitung nach DIN 18800-1 Element 744

Für den Nachweis der Lasteinleitung in den Trägersteg von Knaggenanschlüssen ist die Kategorie „a) Einleitung einer Auflagerkraft am Trägerende“ [(3) Seite 53] nach DIN 18800-1 zu untersuchen. Abb.23 zeigt das Lastausbreitungsverhältniss, welches für die Berechnung der Grenzkraft berücksichtigt werden muss.

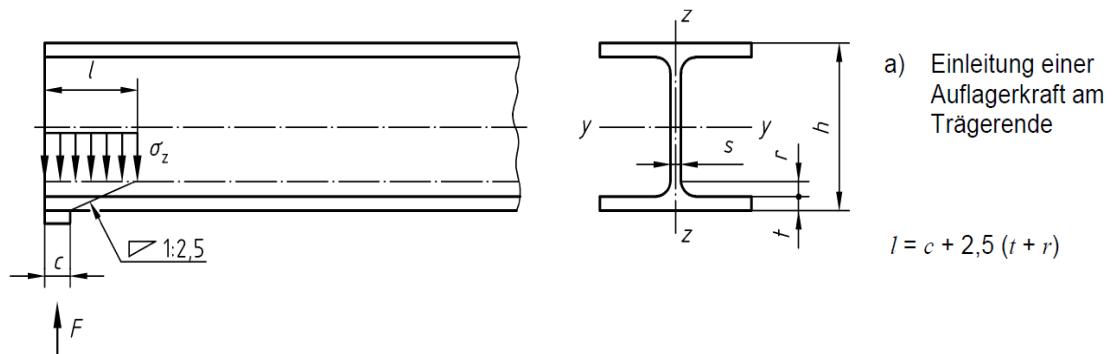


Abb.36 Lasteinleitung in Trägerenden (3) S. 53

Das Verhältniss der Höhe des Trägerprofils zur Stegdicke ist für das zu wählende Nachweisverfahren nach DIN 18800 entscheidend.

Für $\frac{h}{s} \leq 60$ gilt die Ermittlung der Grenzkraft $F_{R,d}$

Für $\frac{h}{s} > 60$ ist der Beulnachweis nach DIN 18800-3 2008:11 zu führen

Die Untersuchung der Krafteinleitung wird auf die Profile mit dem Höhen/Stegdicken - Verhältniss kleiner 60 beschränkt.

Nachweis der Lasteinleitung in den Trägersteg

Der Nachweis der Lasteinleitung in den unausgesteiften Trägersteg erfolgt durch die Ermittlung der maximal aufnehmbaren Grenzkraft.

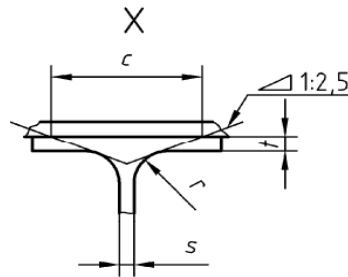
Ermittlung der Grenzkraft
$$F_{R,d} = \frac{t_s \cdot l \cdot f_{y,k}}{\gamma_M}$$

Die mittragende Länge $l = c + 2,5 \cdot (t + r)$ wird nach Abb 32 a) bestimmt

Nachweis $\frac{V_z}{F_{R,d}} \leq 1,0$

Ist dieser Nachweis erfüllt, ist eine Einleitung der vorhandenen Querkraft in den Steg ohne Steifen möglich.

Zur Ermittlung der starren Lasteinleitung ist in DIN 18800 das Verhältnis der Lastausbreitung mit 1:2,5 angegeben und für den Fall der zu ermittelnden Länge für der Nachweis der Kontaktpressung direkt angegeben. Die Länge wird nach Abb.37 bestimmt.



$$c = s + 1,61 r + 5 t$$

Abb.37 starre Lasteinleitungslänge (3) S.53

2.2.7.2 Lasteinleitung nach DIN EN 1993-1-5

DIN EN 1993 gibt für die Einleitung von Querkraften die bei Knaggenanschlüssen nachgewiesen werden die Abmessungen nach Abb.34 Typ c) an: „c) Lasten die in der Nähe des Trägerendes ohne Quersteifen eingeleitet werden und mit der Querkraft im Steg im Gleichgewicht stehen.“ [(17) S.30 6.1.2] werden nach Eurocode 3 untersucht.

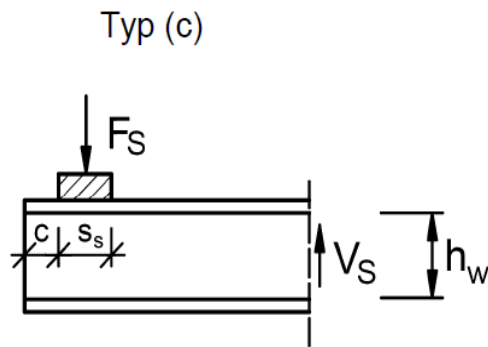


Abb.38 Lasteinleitung der Querkraften Typ (c)
(17) S.31

$$k_F = 2 + 6 \left(\frac{s_s + c}{h_w} \right) \leq 6$$

Ermittlung der Beanspruchbarkeit des Trägersteges:

$$F_{R,d} = \frac{f_{yw} \cdot L_{eff} \cdot t_w}{\gamma_{M1}} ; \quad t_w \text{ - Stegdicke}$$

$$f_{yw} \text{ - Streckgrenze des Steges}$$

$$\gamma_{M1} \text{ - 1,1 (Stabilitätsversagen)}$$

effektive Lastausbreitungslänge

$$L_{eff} = \chi_F \cdot l_y ; \quad \chi_F = \frac{0,5}{\lambda_F} \leq 1,0 \quad \text{Abminderungsfaktor für effektive Lastausbreitungslänge}$$

$$\lambda_F = \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_{yw}}{F_{cr}}} ;$$

$$F_{cr} = \frac{0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot t_w^3}{h_w} ; \quad E \text{ - Elastizitätsmodul}$$

Länge der wirksamen Lastausbreitung für Typ c)

$$\min: \quad - \quad l_y = l_e + t_f \cdot \sqrt{(m_1/2) + (l_e/t_f)^2 + m_2} \quad ; \quad l_e = \frac{k_F \cdot E \cdot t_w^2}{2 \cdot f_{yw} \cdot h_w} \leq s_s + c$$

$$- \quad l_y = l_e + t_f \cdot \sqrt{m_1 + m_2}$$

$$m_1 = \frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w} \quad ; \quad f_{yf} \text{ -Streckgrenze des Gurtes}$$

$$m_2 = 0,02 \cdot (h_w/t_w)^2 \quad \text{für} \quad \bar{\lambda}_F > 0,5$$

$$m_2 = 0 \quad \text{für} \quad \bar{\lambda}_F \leq 0,5$$

Nachweis $\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1,0$

Die Untersuchung der Lasteinleitung in unausgesteifte Trägerstege wird im Beispiel zu Knaggenanschlüssen erläutert. Aus dem Ablaufschemata wird jedoch bereits ersichtlich, dass sich die Berechnung nach Eurocode 3 als aufwändiger erweist.

Das Verhältnis der Lastausbreitung wird im Eurocode 3 mit 1:1 angegeben, daraus ergibt sich die Länge der starren Lasteinleitung für den Nachweis der Kontaktpressung.

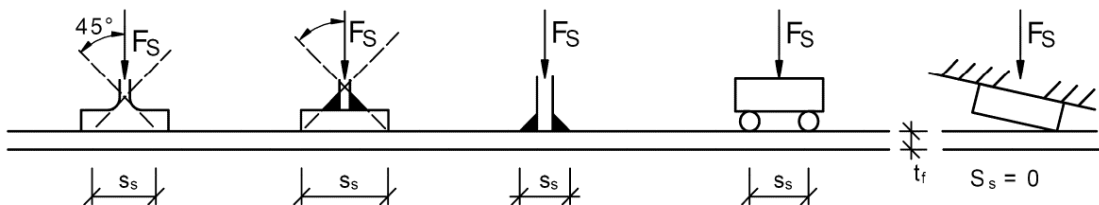


Abb.39 Länge der starren Lasteinleitung (17) Bild 6.2 S.32

2.2.8 Gegenüberstellung der Nachweise ausgeklinkter Träger DIN EN 1993 und DIN 18800

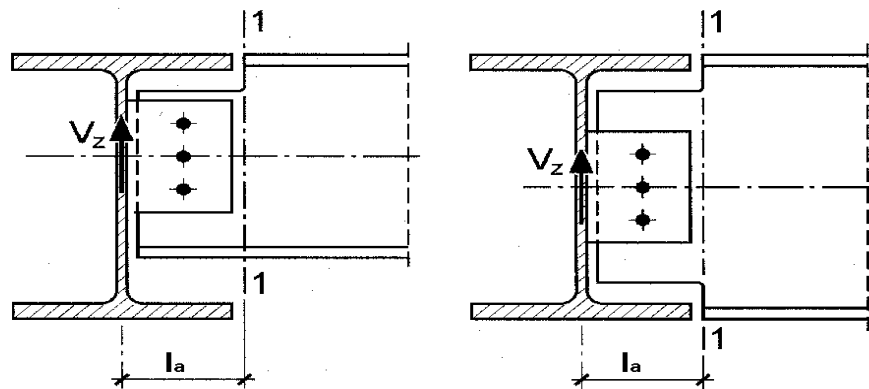


Abb.40 Darstellung möglicher Ausführungsvarianten ausgeklinkter Träger (10) S.89, 3.7.4

Eine Verbindungen von Trägern mit bündigen Oberkanten ist für gelenkige Anschlüsse an Unterzüge oder im Geschossbau vorteilhaft. Die Trägergurte werden im Bereich des Anschlusses ausgespart um eine in der Höhe gleichmäßige Oberkante zu schaffen. Anschlüsse mit bündigen Oberkanten auszubilden verhindert, dass hohe Momentenbelastung auf das Verbindungsteil (Fahnblech oder Winkel wie in Abb.41) aufgrund der großen Außermitte entstehen. Es können sowohl beide als auch nur ein Gurt ausgespart werden. Der geschwächte Querschnitt ist auf die Belastung aus Querkraft V_z und dem Moment $M_a = V_z \cdot l_a$ im Schnitt 1-1 nach Abb.35 nachzuweisen.

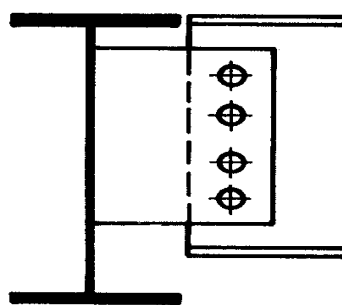


Abb.41 Anschluss Oberkante bündig ohne Ausklinkungen (14) S. 175, 1.5.1

Ermittlung der maßgebenden Spannungen im geschwächten Querschnitt

Der Nachweis für ausgeklinkte Trägerprofile (Fall a) oben ausgeklinkt und Fall b) beidseitig ausgeklinkt) wird für DIN 18800 und DIN EN 1993 nach dem Verfahren elastisch-elastisch erläutert. „Im Fall a) ist der geschwächte Querschnitt ein

einfachsymmetrischer Querschnitt und im Fall b) eine Rechteckquerschnitt. Der Querschnitt wird im Allgemeinen mit dem Nachweisverfahren elastisch-elastisch berechnet. Um das örtliche Beulen im Druckbereich zu verhindern, ist $\max l_a/t_w \leq 12,9$ einzuhalten.“[(7) S.144]. Weiterhin wird durch DIN EN 1993 ein elastisch-plastischer Nachweis für beidseitig ausgeklinkte Trägerprofile angeboten und nach [(10) S.90] erläutert.

2.2.8.2 Nachweis oben ausgeklinkter Trägerprofile

Für die im Bereich des Obergurtes ausgesparten Trägerprofile müssen neue Querschnittswerte ermittelt und der geschwächte Querschnitt auf die Zusatzbelastung durch das Moment $M_a = V_z \cdot l_a$ nachgewiesen werden. Ausklinkungen im Bereich des Obergurtes werden oft für den Anschluss kleinerer Träger an größere Unterzüge verwendet.

Ermittlung der Spannungen

Die Spannungsermittlung erfolgt sowohl für die Stelle der maximalen Normal- und Schubspannungen, als auch für die Stelle 1 der Überlagerung beider Spannungen.

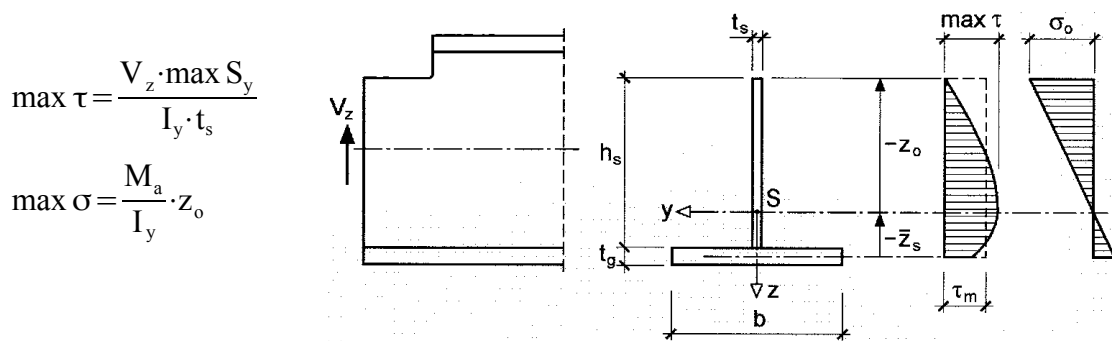


Abb.42 Spannungen im oben geschwächten Querschnitt (10) S. 90

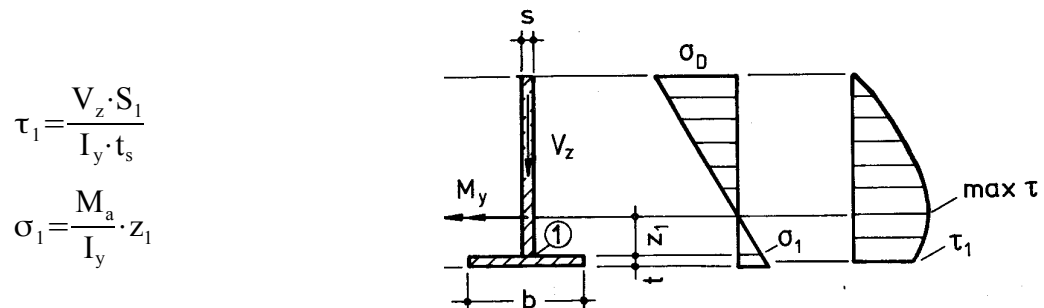


Abb.43 Spannung an der Stelle 1 (14) S.176

Querschnittswerte des geschwächten Querschnitts

Höhe des ausgeklinkten Trägers $h = h_s + t_g$

Flächen $A_{\text{Steg}} = t_s \cdot h_s$; $A_{\text{Gurt}} = t_g \cdot b$; $A = A_{\text{Gurt}} + A_{\text{Steg}}$

Abstand zum Schwerpunkt $z_o = \frac{(A_{\text{Steg}} \cdot (h_s/2) + A_{\text{Gurt}} \cdot (h_s + t_g/2))}{A}$
 $z_1 = h - z_o - t_g$

Flächenmomente 1. Grades $\max S_y = \frac{t_s \cdot z_o^2}{2}$; $S_1 = A_{\text{Gurt}} \cdot (z_1 + t_g/2)$

Flächenmoment 2. Grades $I_y = \frac{t_s \cdot h_s^3}{12} + A_{\text{Steg}} \cdot (z_o - (h_s/2))^2 + A_{\text{Gurt}} \cdot (z_1 + t_g/2)^2$

Die ermittelten Spannungen und Querschnittswerte können für die Berechnung des Anschlusses nach DIN 18800 und dem Nachweis nach der Elastizitätstheorie nach Eurocode 3 genutzt werden.

Nachweis der Restquerschnitte

Der Nachweis der geschwächten Querschnitte wird für beide Normen im Spannungsnachweis elastisch-elastisch erläutert.

Nachweis nach DIN 18800

Nachweis der Maximalwerte der Schub- und Normalspannung: $\frac{\max \sigma}{\sigma_{R,d}} \leq 1,0$;
 $\frac{\max \tau}{\tau_{R,d}} \leq 1,0$;

Nachweis der Vergleichsspannung an der Stelle 1 (nach Abb.38)

$$\frac{\sigma_v}{\sigma_{R,d}} \leq 1,0 \quad \text{mit} \quad \sigma_v = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2}$$

$$\text{mit} \quad \sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} ; \quad \tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M}$$

Nachweis nach DIN EN 1993 [nach (6) S. 36/37]:

Nachweis der Maximalwerte der Schub- und Normalspannung $\frac{\max \sigma_{Ed}}{\sigma_{Rd}} \leq 1,0$;

$$\frac{\max \tau_{Ed}}{\tau_{Rd}} \leq 1,0$$

Nachweis der Vergleichsspannung an der Stelle 1 (nach Abb.43)

$$\frac{\sigma_v}{\sigma_{Rd}} \leq 1,0 \quad \text{mit} \quad \sigma_v = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_1^2}$$

mit $\sigma_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$; $\tau_{Rd} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$

2.2.8.2 Nachweis beidseitig ausgeklinkter Trägerprofile

Für beidseitig ausgeklinkte Trägerprofile wird zusätzlich der Nachweis nach dem Verfahren der zulässigen Schnittgrößen (elastisch-plastisch)) nach DIN EN 1993 erläutert. Beidseitig ausgeklinkte Trägerprofile werden verwendet, um Träger mit gleicher Höhe miteinander zu verbinden.

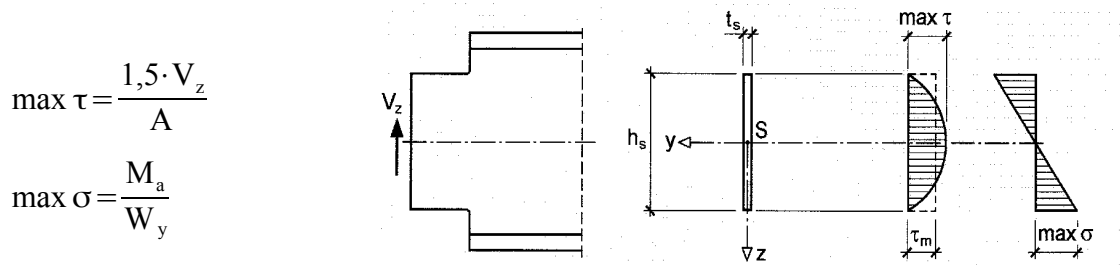


Abb.44 Spannungen im geschwächten Querschnitt (10) Seite 90

Querschnittswerte des geschwächten Querschnitts:

Stegfläche $A_{Steg} = t_s \cdot h_s$

Widerstandsmoment $W_y = \frac{A_{Steg} \cdot h_s^3}{6}$

Nachweis nach DIN 18800: $\frac{\max \sigma}{\sigma_{R,d}} \leq 1,0$; $\frac{\max \tau}{\tau_{R,d}} \leq 1,0$;

Der Nachweis nach DIN 18800 wird mit dem Spannungsnachweis geführt. Auf den Vergleichsspannungsnachweis kann verzichtet werden.

Nachweis nach DIN EN 1993

Der Nachweis nach DIN EN 1993 erfolgt nach dem Verfahren elastisch-plastisch mit Interaktion zwischen einachsiger Biegung und Querkraft.

$$\text{Schubbeanspruchung} \quad V_{z,Ed} \leq \frac{t_w \cdot h_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = V_{pl,Rd}$$

$$\text{Biegebeanspruchung} \quad \frac{M_a}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

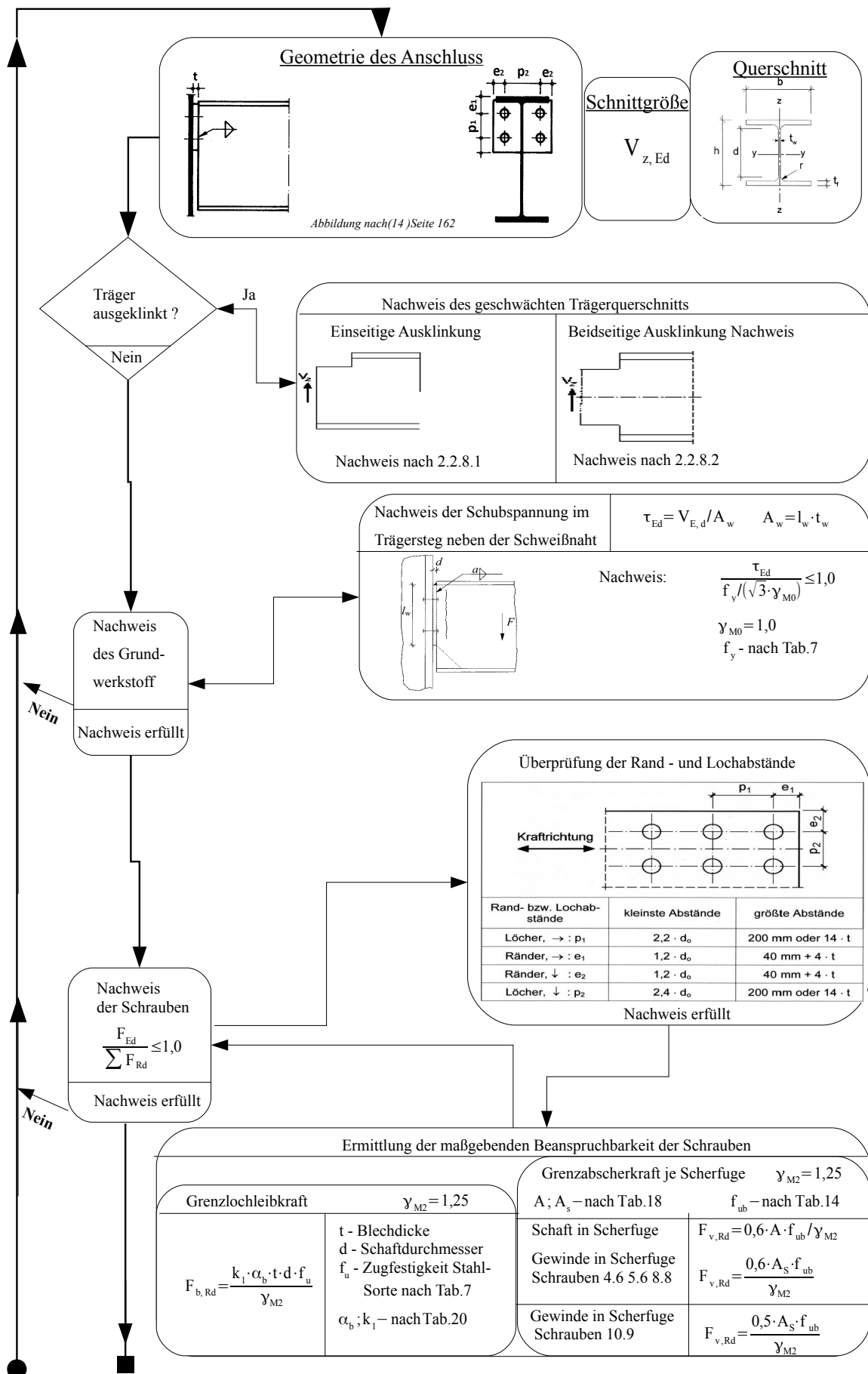
$$\text{mit} \quad M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \sqrt{1 - (V_{z,Ed} / V_{pl,Rd})^2}$$

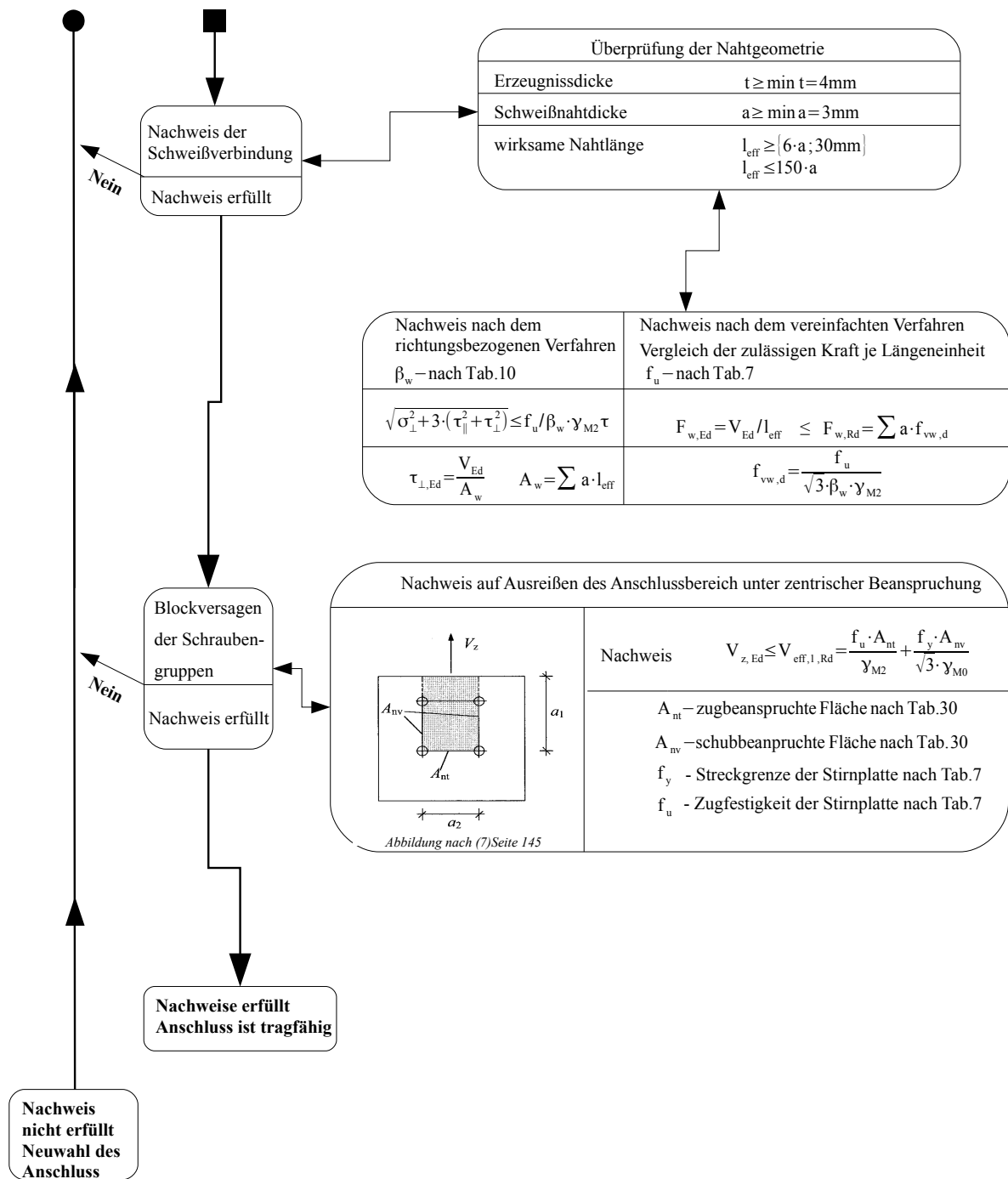
$$W_{pl} = \frac{1}{4} \cdot t_w \cdot h_w^2$$

3 Ablaufdiagrammen für die Berechnung gelenkiger Anschlüsse

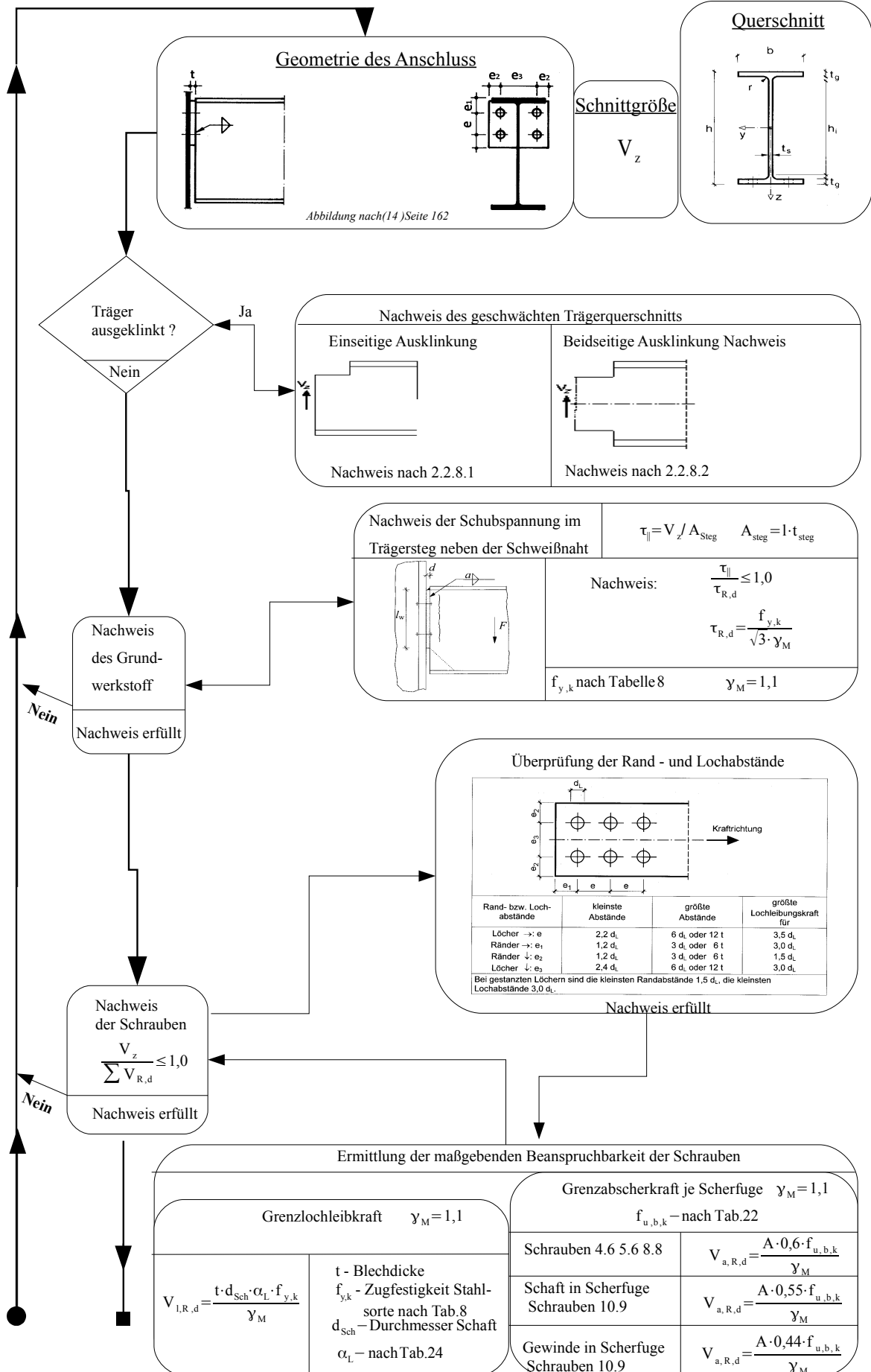
Der Nachweis gelenkiger Anschlüsse ist durch Ablaufschemata dargestellt. Es sind Verweise auf Abschnitte in der Bachelorarbeit und zu verwendende Tabellen vorhanden, um die Nachweise der dargestellte Anschlüsse führen zu können. Sonderkonstruktionen der Anschlüsse, die zusätzliche Schnittgrößen und differenzierte Nachweise notwendig machen, sind in den einzelnen Ablaufschemen nicht berücksichtigt

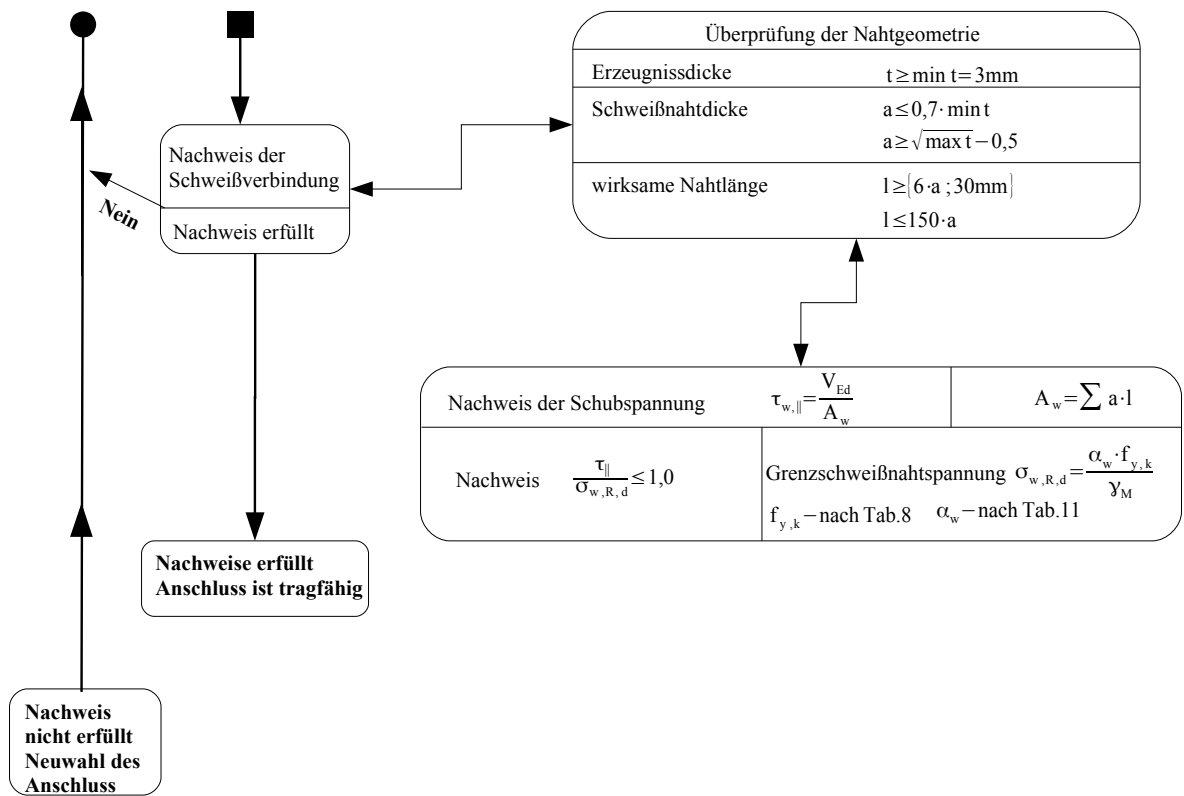
3.1 Stirnplattenanschluss nach DIN EN 1993



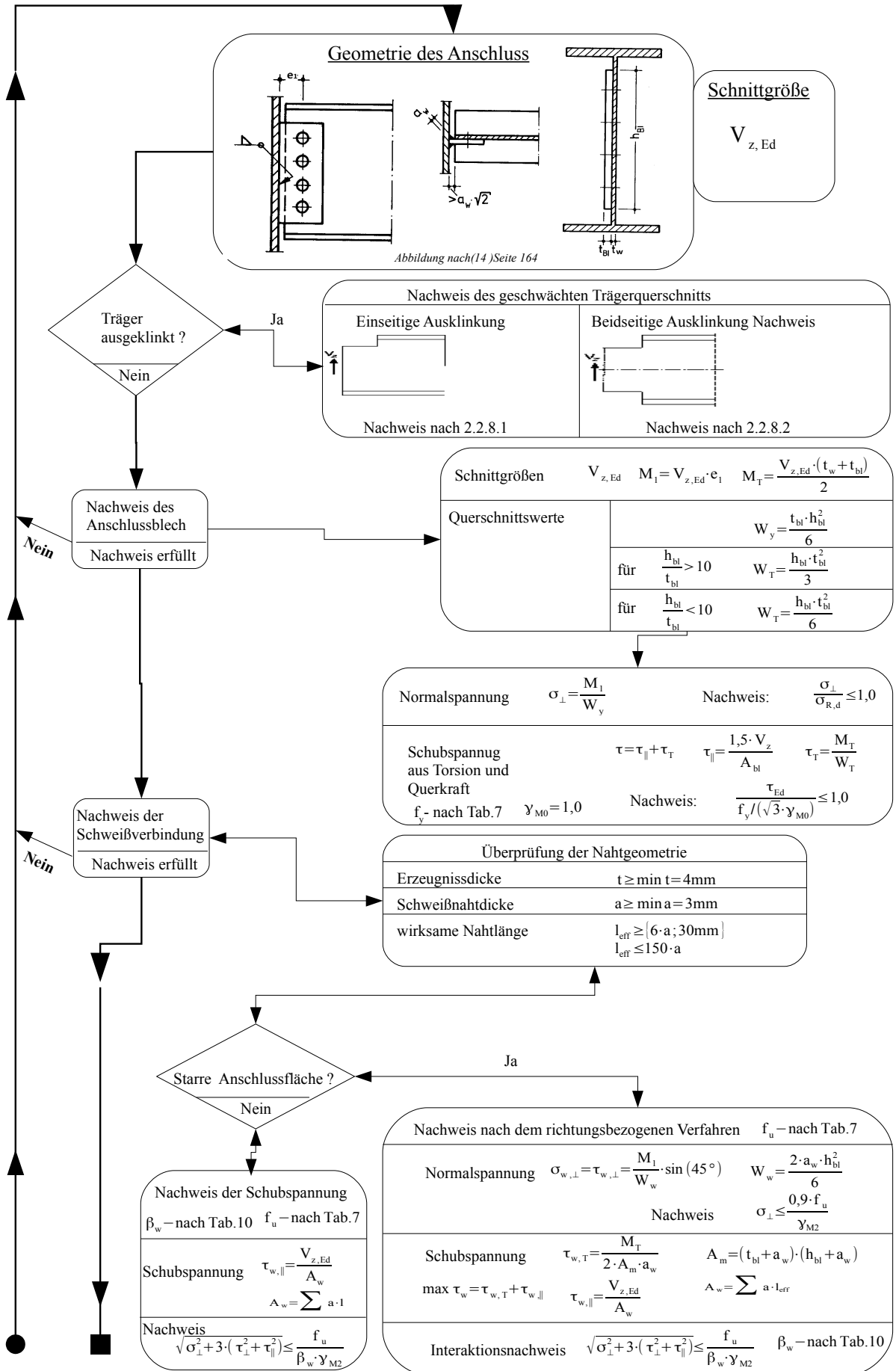


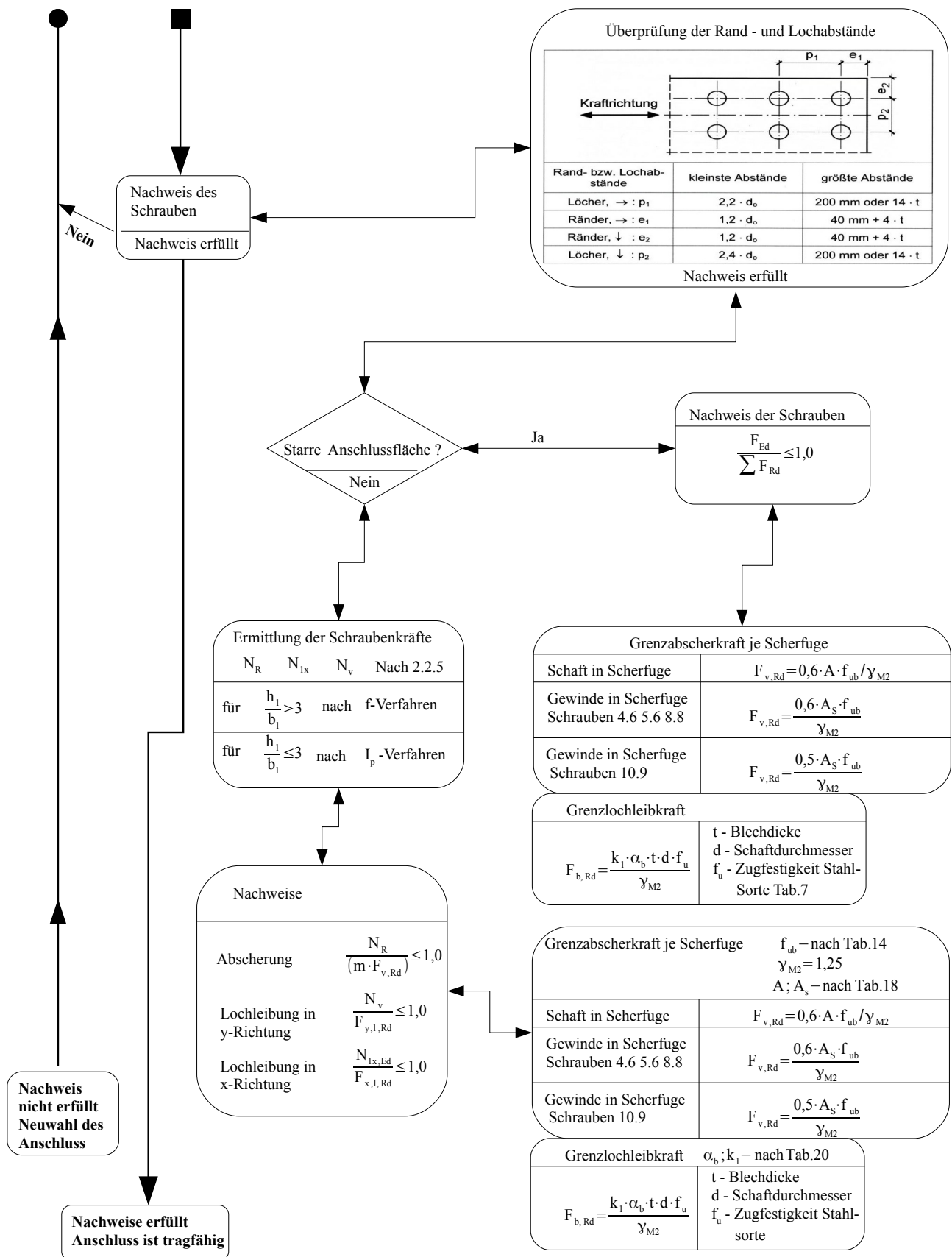
3.2 Stirnplattenanschluss nach DIN 18800



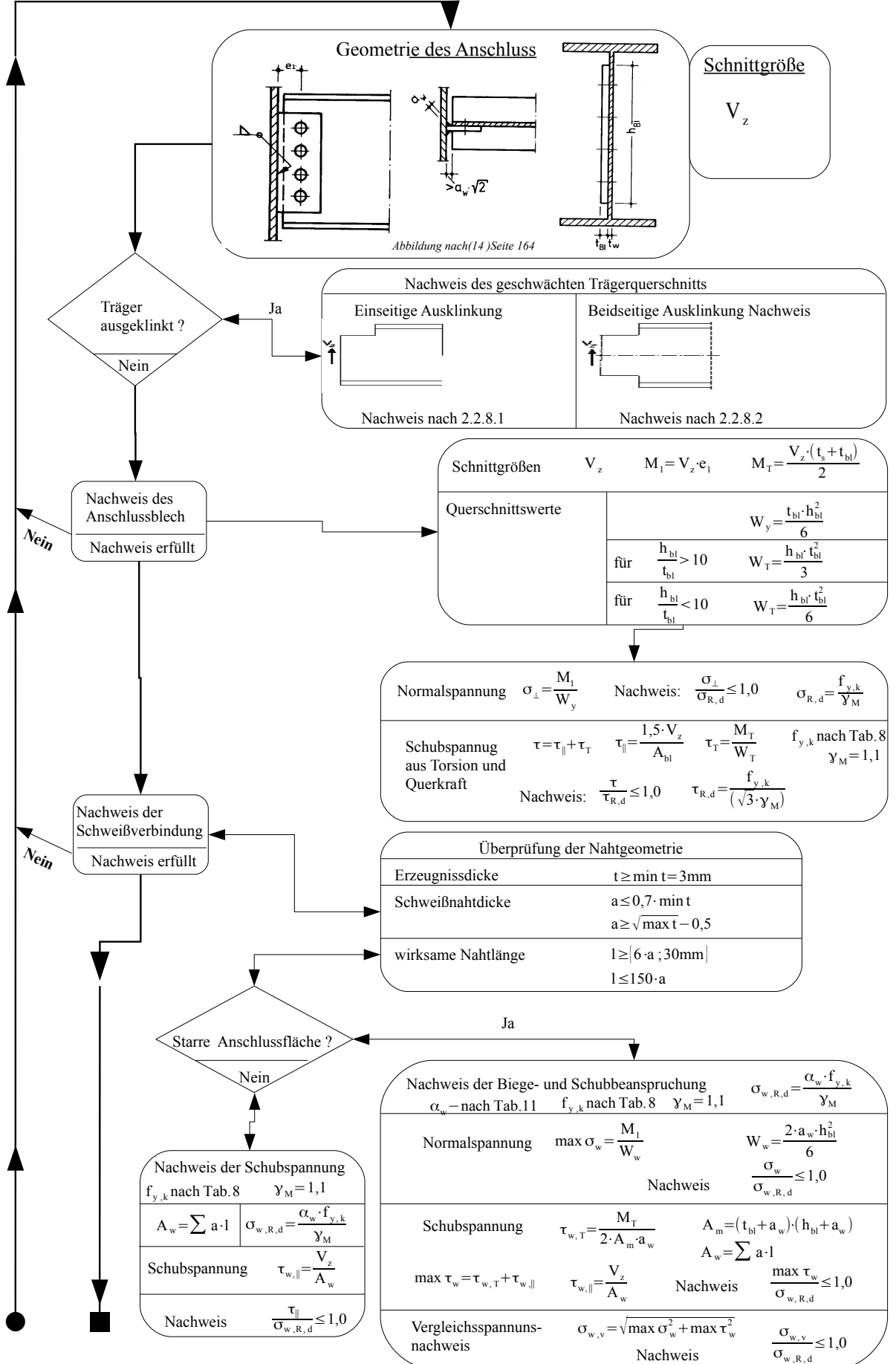


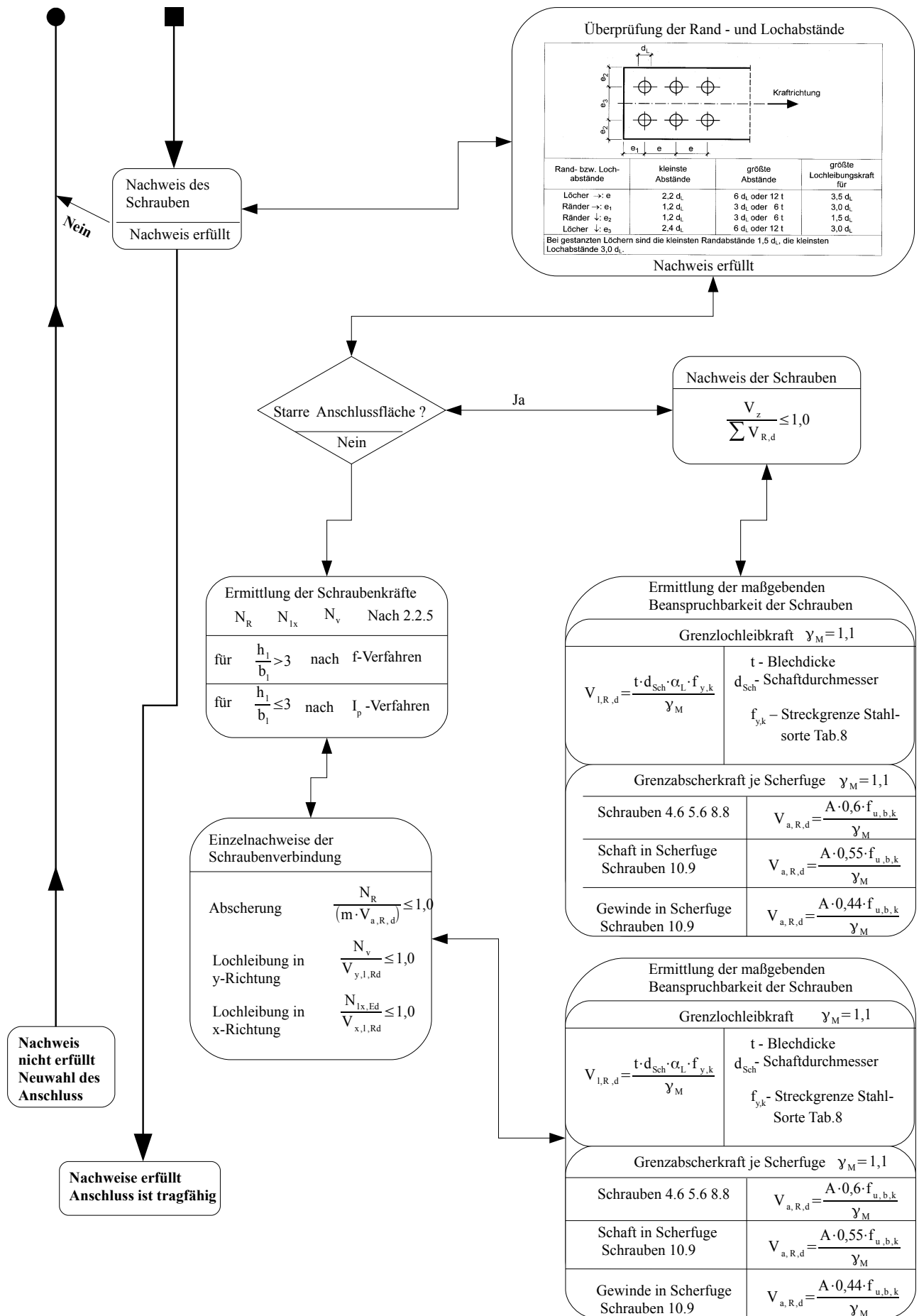
3.3 Fahnenblechanschluss nach DIN EN 1993



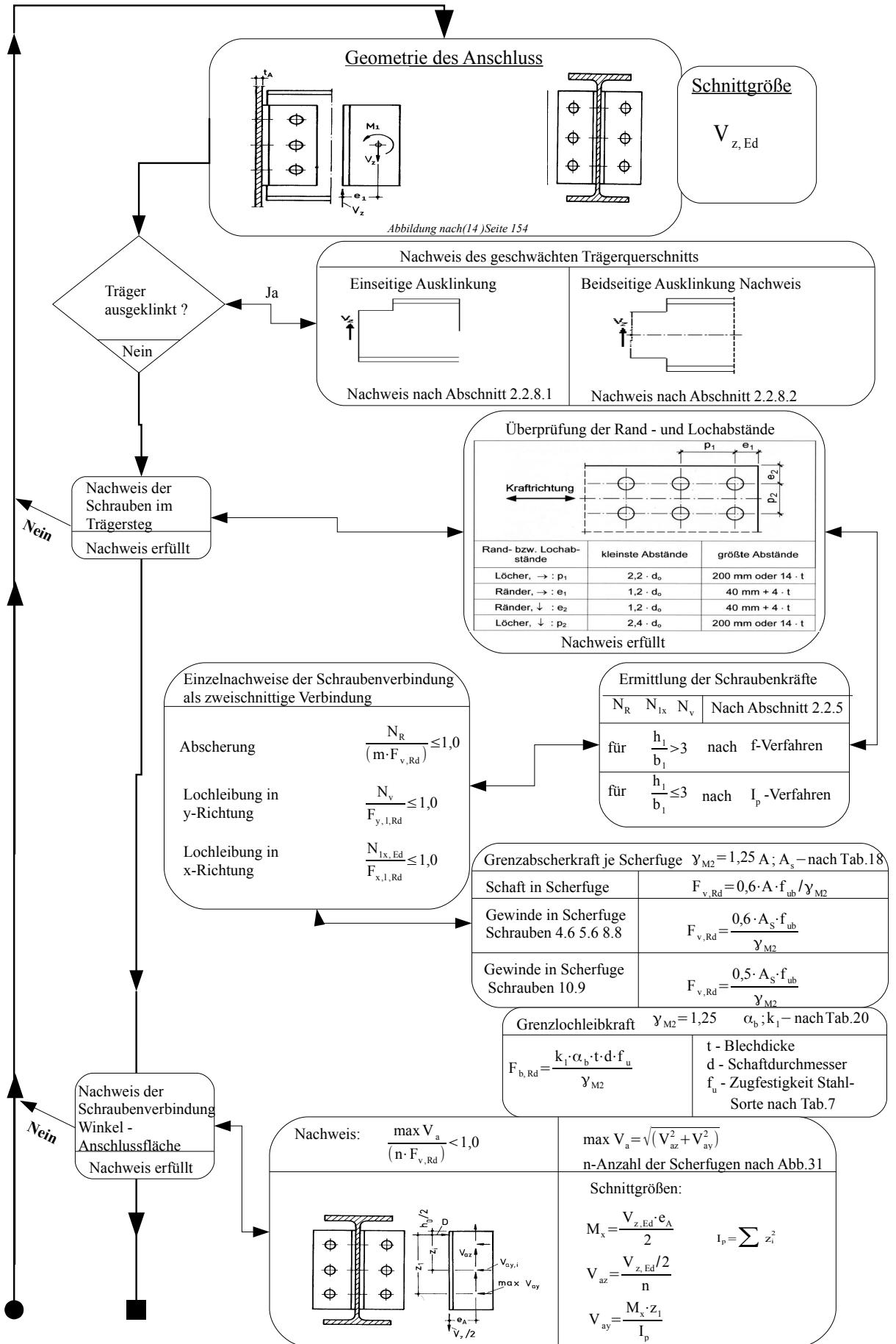


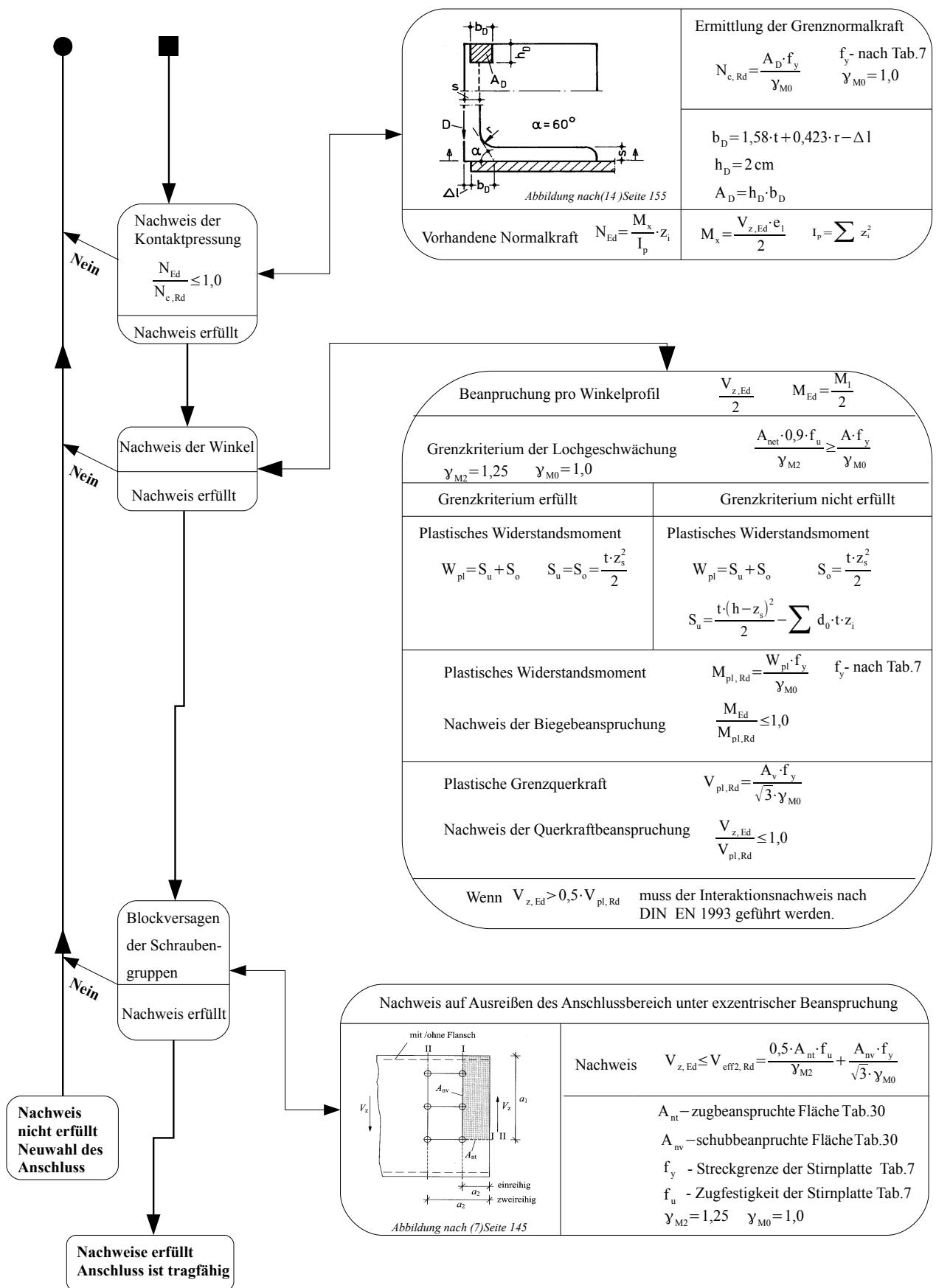
3.4 Fahnenblechanschluss nach DIN 18800





3.5 Doppelwinkelanschluss nach DIN EN 1993





Geometrie des Anschlusses

Abbildung nach (14) Seite 154

Schnittgröße

V_z

Nachweis des geschwächten Trägerquerschnitts

Einseitige Ausklinkung

Nachweis nach Abschnitt 2.2.8.1

Beidseitige Ausklinkung Nachweis

Nachweis nach Abschnitt 2.2.8.2

Überprüfung der Rand- und Lochabstände

Rand- bzw. Lochabstände	kleinste Abstände	größte Abstände	größte Lochleibungskraft für
Löcher \rightarrow : e	2,2 d _t	6 d _t oder 12 t	3,5 d _t
Ränder \rightarrow : e ₁	1,2 d _t	3 d _t oder 6 t	3,0 d _t
Ränder \downarrow : e ₂	1,2 d _t	3 d _t oder 6 t	1,5 d _t
Löcher \downarrow : e ₃	2,4 d _t	6 d _t oder 12 t	3,0 d _t

Bei gestanzten Löchern sind die kleinsten Randabstände 1,5 d_t, die kleinsten Lochabstände 3,0 d_t.

Nachweis erfüllt

Einzelnachweise der Schraubenverbindung als zweischnittige Verbindung

Abscherung $\frac{N_R}{(m \cdot V_{a,Rd})} \leq 1,0$

Lochleibung in y-Richtung $\frac{N_y}{V_{y,I,Rd}} \leq 1,0$

Lochleibung in x-Richtung $\frac{N_{Ix,Ed}}{V_{x,I,Rd}} \leq 1,0$

Ermittlung der Schraubenkräfte

N_R N_{Ix} N_y

für $\frac{h_1}{b_1} > 3$ nach f-Verfahren

für $\frac{h_1}{b_1} \leq 3$ nach I_p-Verfahren

Ermittlung der maßgebenden Beanspruchbarkeit der Schrauben

Grenzabscherkraft je Scherfuge $\gamma_M = 1,1$
 $f_{u,b,k}$ – nach Tab.22

Schrauben 4.6 5.6 8.8 $V_{a,Rd} = \frac{A \cdot 0,6 \cdot f_{u,b,k}}{\gamma_M}$

Schaft in Scherfuge Schrauben 10.9 $V_{a,Rd} = \frac{A \cdot 0,55 \cdot f_{u,b,k}}{\gamma_M}$

Gewinde in Scherfuge Schrauben 10.9 $V_{a,Rd} = \frac{A \cdot 0,44 \cdot f_{u,b,k}}{\gamma_M}$

Grenzlochleibkraft $\gamma_M = 1,1$
 α_L – nach Tab.24

$V_{I,Rd} = \frac{t \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_L \cdot f_{y,k}}{\gamma_M}$

d_{Sch}

α_L – nach Tab.24

Nachweis: $\frac{\max V_a}{(n \cdot V_{a,Rd})} < 1,0$

Nachweis der Schrauben Doppelwinkel - Anschlussfläche

Nachweis erfüllt

Schnittgrößen:

$\max V_a = \sqrt{(V_{az}^2 + V_{ay}^2)}$

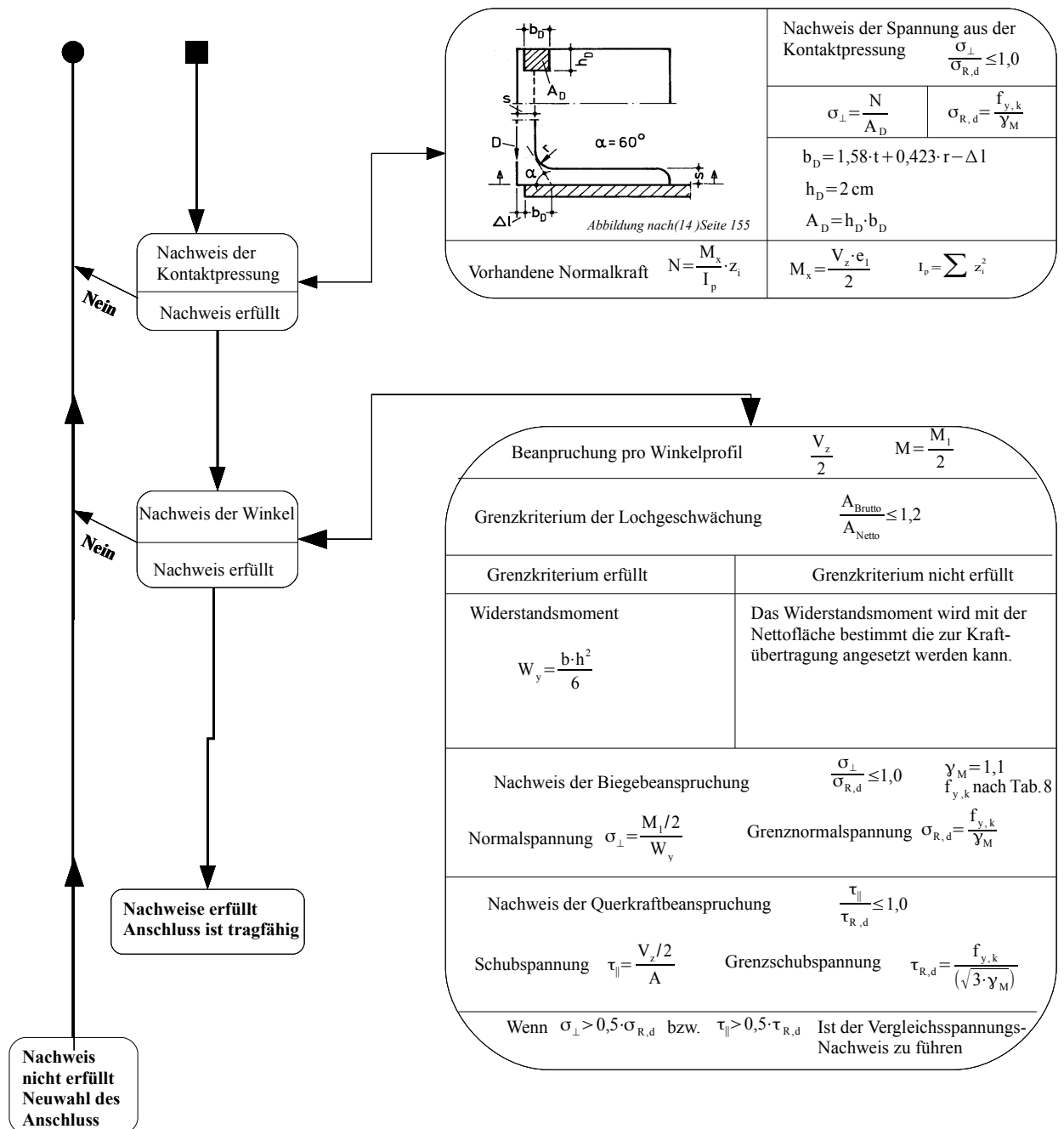
n-Anzahl der Scherfugen nach Abb.31

$M_x = \frac{V_z \cdot e_A}{2}$

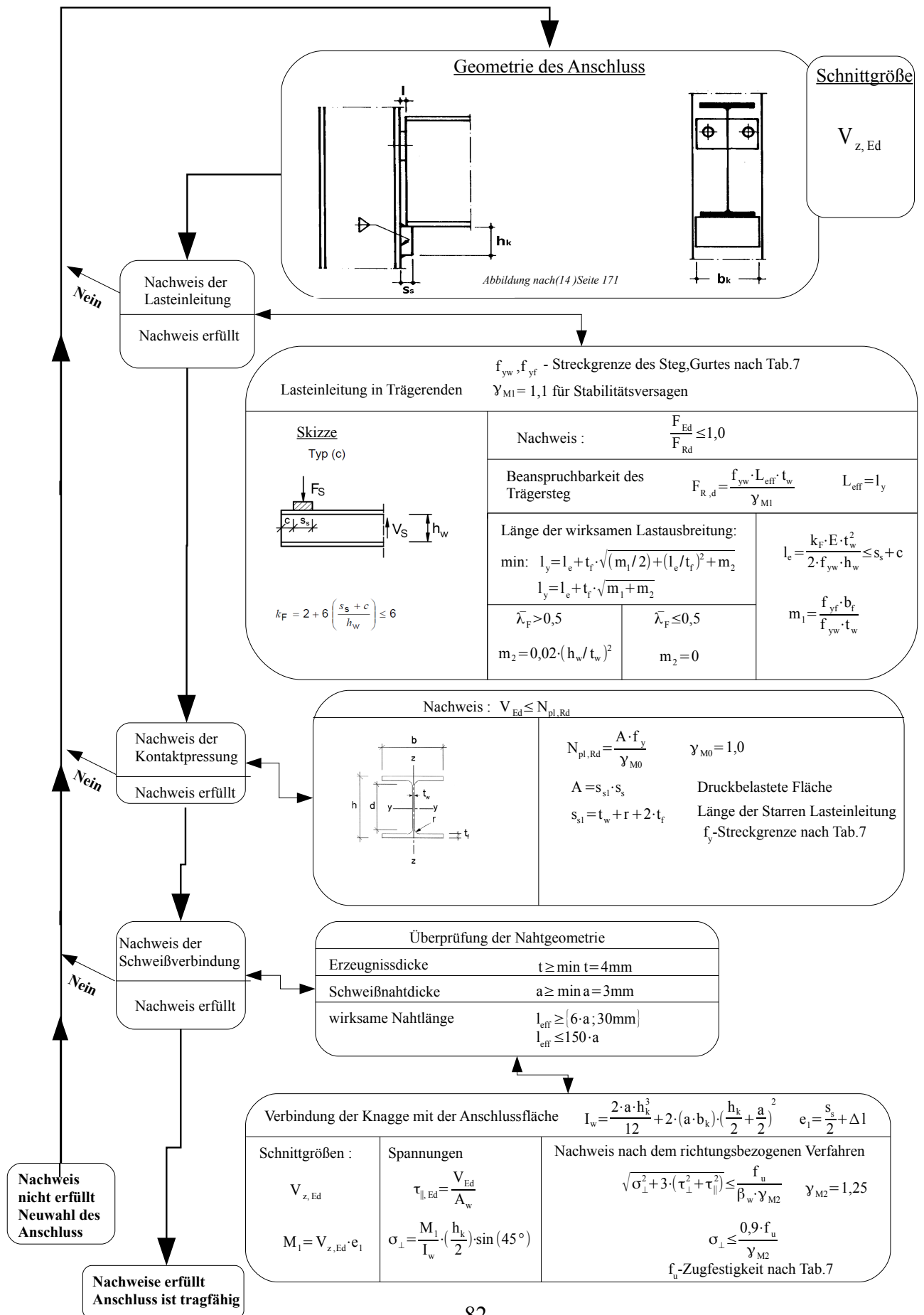
$V_{az} = \frac{V_z / 2}{n}$

$V_{ay} = \frac{M_x \cdot z_1}{I_p}$

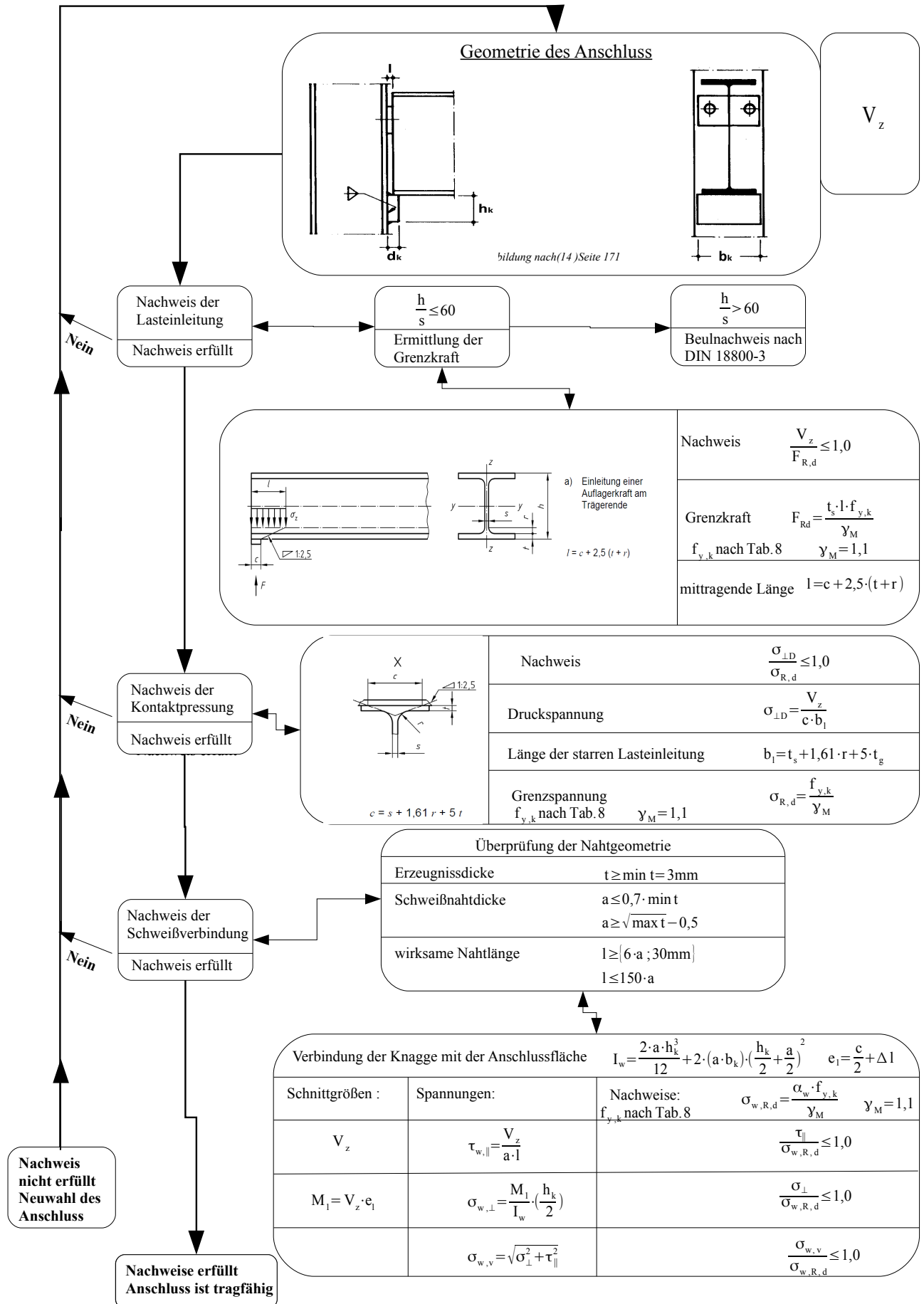
$I_p = \sum z_i^2$



3.7 Knaggenanschluss DIN EN 1993



3.8 Knaggenanschluss nach DIN 18800



4. Beispielrechnung gelenkiger Anschlüsse

4.1. Stirnplattenanschluss nach DIN EN 1993

Erläuterung

Die nachzuweisende Stirnplattenverbindung ist eine Träger-Träger-Verbindung, die mit bündigen Oberkanten ausgeführt ist. Es werden IPE 400 Profile miteinander verbunden und eine beidseitige Ausklinkung ist vorgesehen. Als Verbindungsmittel werden hochfeste Schrauben M16 10.9 verwendet. Der Nachweis des Grundwerkstoff erfolgt nach dem Verfahren elastisch-plastisch für die Berechnung nach DIN EN 1993 und nach dem Verfahren elastisch-elastisch für die Berechnung DIN 18800. Der Nachweis der Schweißnähte nach DIN EN 1993 wird für das richtungsbezogene und vereinfachte Nachweisverfahren geführt. Die angegebenen Einwirkungen sind Bemessungslasten.

Trägerprofil: IPE 400 (S235)

Stirnplatte: Bl 10mm×100mm (S235)

Schrauben: M 16 10.9 $d_0=18\text{ mm}$ Schaft in der Scherfuge

Schweißnähte: Kehlnähte $a=4\text{ mm}$

Skizze

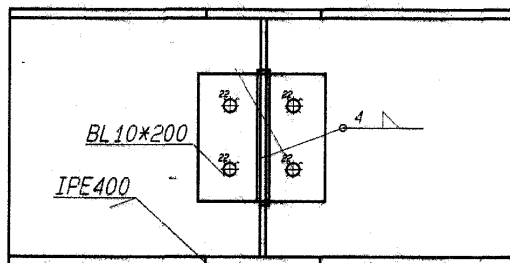


Abb.45 Stirnplattenstoß

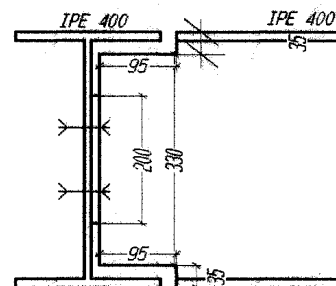


Abb.46 Stirnplattenstoß Seitenansicht

Schnittgrößen: $V_{z,Ed} = 200\text{ kN}$

IPE 400 Stegdicke $t_w = 8,6\text{ mm}$
 Gurtdicke $t_f = 13,5\text{ mm}$

Nachweis des ausgeklinkten Trägerprofils

Der beidseitig ausgeklinkte Träger wird nach dem Verfahren elastisch-plastisch nach Abschnitt 2.2.8.2 nachgewiesen.

Ausgeklinkter Träger: $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$

Länge der Ausklinkung $l_a = 95 \text{ mm}$

Höhe der Ausklinkung $h_a = 330 \text{ mm}$

Überprüfung der Gefahr auf Schubbeulen des Steges $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$; $\eta = 1,2$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

Nachweis $\frac{h_w}{t_w} = \frac{330}{8,6} = 38,4 \leq \frac{72 \cdot \varepsilon}{\eta} = \frac{72 \cdot 1}{1,2} = 60$ **Nachweis erfüllt**

Es besteht keine Gefahr des Schubbeulens des Trägersteges. Der Trägersteg ist in die Querschnittsklasse 1 einzuteilen.

Nachweis der Querkraft $V_{z,Ed} = 200 \text{ KN}$

wirksame Schubfläche $A_v = h_a \cdot t_w = 33 \text{ cm} \cdot 0,86 \text{ cm} = 28,38 \text{ cm}^2$

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{28,38 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 385,05 \text{ KN}$$

Nachweis: $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{200 \text{ KN}}{385 \text{ KN}} = 0,52 \leq 1,0$

Nachweis erfüllt 52 % Auslastung

Nachweis der Biegebeanspruchung

$$M_a = V_{z,Ed} \cdot l_a = 200 \text{ KN} \cdot 9,5 \text{ cm} = 1900 \text{ KNcm}$$

plastisches Widerstandsmoment

$$W_{pl} = \frac{1}{4} \cdot t_w \cdot h_a^2 = \frac{1}{4} \cdot 0,86 \text{ cm} \cdot (33 \text{ cm})^2 = 234,14 \text{ cm}^3$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \sqrt{1 - (V_{z,Ed} / V_{pl,Rd})^2} = \frac{234,14 \text{ cm}^3 \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2}{1,0} \cdot \sqrt{1 - (200 \text{ KN} / 385 \text{ KN})^2}$$

$$= 4701 \text{ KNcm}$$

Nachweis $\frac{M_a}{M_{c,Rd}} = \frac{1900 \text{ KNcm}}{4701 \text{ KNcm}} = 0,40 \leq 1,0$

Das ausgeklinkte Trägerprofil ist nach DIN EN 1993 zu 52% ausgelastet.

Nachweis des Grundwerkstoffs

Nachweis der Schubspannung im Steg neben der Schweißnaht

$$A_v = l_w \cdot t_w = 20 \text{ cm} \cdot 0,86 \text{ cm} = 17,2 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{17,2 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 233,4 \text{ KN}$$

Nachweis: $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{200 \text{ KN}}{233,4} = 0,85 \leq 1,0$

Nachweis erfüllt 85% Auslastung

Nachweis der Schweißnähte

Überprüfung der Schweißnahtgeometrie

$$t = 10 \text{ mm} > \min t = 4 \text{ mm}$$

$$a_w = 4 \text{ mm} > \min a_w = 3 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 200 \text{ mm} > 6 \cdot a = 6 \cdot 4 \text{ mm} = 24 \text{ mm}$$

$$< 150 \cdot a = 150 \cdot 4 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

Nachweis nach dem richtungsbezogenen Verfahren

$$A_w = \sum a \cdot l_{\text{eff}} = 2 \cdot 0,4 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm}$$

$$A_w = 16 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\parallel, \text{Ed}} = \frac{V_{\text{Ed}}}{A_w} = \frac{200 \text{ KN}}{16 \text{ cm}^2} = 12,5 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36 \text{ KN/cm}^2}{0,8 \cdot 1,25} = 36 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis : $\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{(3 \cdot 12,5^2)} = 21,65 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 21,65 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 36 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis erfüllt 60 % Auslastung

Nachweis nach dem vereinfachten Verfahren

$$F_{w, \text{Ed}} = \frac{V_{\text{Ed}}}{l_w} = \frac{200 \text{ KN}}{20 \text{ cm}} = 10 \frac{\text{KN}}{\text{cm}}$$

$$f_{vw, d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36 \text{ KN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 20,8 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$F_{w, \text{Rd}} = \sum a \cdot f_{vw, d} = 2 \cdot 0,4 \text{ cm} \cdot 20,8 \text{ KN/cm}^2 = 16,64 \frac{\text{KN}}{\text{cm}}$$

Nachweis: $F_{w, \text{Ed}} = \frac{V_{\text{Ed}}}{l_{\text{eff}}} = 10 \frac{\text{KN}}{\text{cm}} < F_{w, \text{Rd}} = \sum a_w \cdot f_{vw, d} = 16,64 \frac{\text{KN}}{\text{cm}}$

Nachweis erfüllt 60 % Auslastung

Nachweis der Schrauben

Überprüfung der Lochabstände

$$e_1 : 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 < e_1 = 50 < 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 8,6 + 40 = 74,4 \quad [\text{mm}]$$

$$p_1 : 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 18 = 39,6 < p_1 = 100 < 14 \cdot t = 14 \cdot 8,6 = 120,4 ; 200 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2 : 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 < e_2 = 50 < 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 8,6 + 40 = 74,4 \quad [\text{mm}]$$

$$p_2 : 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 18 = 43,2 < p_2 = 100 < 14 \cdot t = 14 \cdot 8,6 = 120,4 ; 200 \quad [\text{mm}]$$

Ermittlung der Grenzscherkraft der Schrauben

$$f_{ub} = 100 \text{ KN/cm}^2 ; a_v = 0,6 ; A = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{a_v \cdot A \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 100 \text{ KN/cm}^2 \cdot 2,01 \text{ cm}^2}{1,25} = 96,5 \text{ KN}$$

Ermittlung der Grenzlochleibungskraft der Schrauben

$t = 8,6 \text{ mm}$ „(Auf der sicheren Seite wird für t die Dicke des Steges - Lochaufweitung - eingesetzt)“ [(15)S. 309]; $d = 16 \text{ mm}$; $f_u = 360 \text{ KN/cm}^2$

Randschrauben

$$\alpha_b = \min \begin{array}{l} - \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{50 \text{ mm}}{3 \cdot 18 \text{ mm}} = 0,93 \\ - \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{1000 \text{ KN/cm}^2}{360 \text{ KN/cm}^2} = 2,8 \\ - 1,0 \end{array}$$

$$k_1 = \min \begin{array}{l} - \frac{2,5 \cdot e_2}{d_0} - 1,7 = \frac{2,5 \cdot 50 \text{ mm}}{18 \text{ mm}} - 1,7 = 5,24 \\ - \frac{1,4 \cdot p_2}{d_0} - 1,7 = \frac{1,4 \cdot 100 \text{ mm}}{18 \text{ mm}} - 1,7 = 6,07 \\ - 2,5 \end{array}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot t \cdot d \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,93 \cdot 1,0 \text{ cm} \cdot 1,6 \text{ cm} \cdot 36 \text{ KN/cm}^2}{1,25} = 107 \text{ KN}$$

Innenschraube

$$\alpha_b = \min \begin{array}{l} - \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{100 \text{ mm}}{3 \cdot 18 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 1,83 \\ - \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{1000 \text{ KN/cm}^2}{360 \text{ KN/cm}^2} = 2,8 \\ - 1,0 \end{array}$$

$$k_1 = \min \begin{array}{l} - \frac{1,4 \cdot p_2}{d_0} - 1,7 = \frac{1,4 \cdot 100 \text{ mm}}{18 \text{ mm}} - 1,7 = 6,07 \\ - 2,5 \end{array}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot t \cdot d \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 0,86 \text{ cm} \cdot 1,6 \text{ cm} \cdot 36 \text{ KN/cm}^2}{1,25} = 99 \text{ KN}$$

Die Grenzabscherkraft der Schrauben $F_{v,Rd}=96,5 \text{ KN}$ wird für den Nachweis maßgebend.

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{200 \text{ KN}}{4} = 50 \text{ KN}$$

Nachweis: $\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{50 \text{ KN}}{96,5 \text{ KN}} = 0,51 < 1,0$

Nachweis erfüllt 51 % Auslastung

Nachweis auf Ausreißen des Anschlussbereichs

zentrische Belastung des Stirnblech nach Abschnitt 2.2.6

$$V_{z,Ed} = 230 \text{ KN} ; t = 10 \text{ mm} ; d_0 = 18 \text{ mm} ; L_h = 10 \text{ cm} ; L_v = 15 \text{ cm}$$

Fläche des zugbeanspruchten Nettoquerschnitts

$$A_{nv} = [L_h - (n_v - 1,0) \cdot d_0] \cdot t = [10 - (2,0 - 1,0) \cdot 1,8] \cdot 1,0 = 8,2 \text{ cm}^2$$

Fläche des schubbeanspruchten Nettoquerschnitts

$$A_{nt} = 2 \cdot [L_v - (n_b - 0,5) \cdot d_0] \cdot t = 2 \cdot [15 - (2,0 - 0,5) \cdot 1,8] \cdot 1,0 = 24,6 \text{ cm}^2$$

Nachweis: $V_{Ed} \leq V_{veff,1,Rd} = \frac{f_u \cdot A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y \cdot A_{nv}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$

$$200 \text{ KN} \leq \frac{36 \text{ KN/cm}^2 \cdot 24,6 \text{ cm}^2}{1,25} + \frac{23,5 \text{ KN/cm}^2 \cdot 8,2 \text{ cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 819 \text{ KN}$$

Nachweis erfüllt 24% Auslastung

4.2 Nachweis der Stirnplattenverbindung nach DIN 18800

<u>Trägerprofil:</u>	IPE 400
<u>Stirnplatte:</u>	Bl 10mm×100mm
<u>Schrauben:</u>	M 16 10.9 ; $d_0=18\text{ mm}$ Schaft in der Scherfuge
<u>Schweißnähte:</u>	Kehlnähte $a=4\text{ mm}$

Skizze: Siehe 4.1

Schnittgrößen: $V_z=200\text{ KN}$

Nachweis des ausgeklinkten Trägerprofils

Länge der Ausklinkung $l_a=95\text{ mm}$

Höhe der Ausklinkung $h_a=330\text{ mm}$

$$\text{Widerstandsmoment } W_y = \frac{t_s \cdot h_a^2}{6} = \frac{0,86\text{ cm} \cdot (33\text{ cm})^2}{6} = 156\text{ cm}^3$$

$$A = t_s \cdot h_a = 0,86\text{ cm} \cdot 33\text{ cm} = 28,38\text{ cm}^2$$

Ermittlung der Spannungen nach Abschnitt 2.7.2

$$\text{Schubspannung } \max \tau = \frac{1,5 \cdot V_z}{A} = \frac{1,5 \cdot 200\text{ KN}}{28,38\text{ cm}^2} = 10,57 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Nachweis : } \frac{\max \tau}{\tau_{R,d}} = \frac{10,57\text{ KN/cm}^2}{12,56\text{ KN/cm}^2} = 0,84 < 1,0$$

Nachweis erfüllt 84 % Auslastung

Ermittlung der Normalspannung

$$\max \sigma = \frac{M_a}{W_y} = \frac{1900 \text{ KNcm}}{156 \text{ cm}^3} = 12,17 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis: $\frac{\max \sigma}{\sigma_{R,d}} = \frac{12,17 \text{ KN/cm}^2}{21,81 \text{ KN/cm}^2} = 0,56 < 1,0$

Nachweis erfüllt 56 % Auslastung

Auf den Nachweis der Vergleichsspannung wird verzichtet, da die einwirkenden Einzelspannungen nicht an der selben Stelle maßgebend werden.

Nachweis der Schubspannung im Steg neben der Schweißnaht

$$\frac{A_{\text{Gurt}}}{A_{\text{Steg}}} = \frac{24,3}{17,2} = 1,41 \geq 0,6$$

$$\tau = \frac{V_z}{A_{\text{Steg}}} = \frac{200 \text{ KN}}{17,2 \text{ cm}^2} = 11,62 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = \frac{24 \text{ KN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 12,59 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis: $\frac{\tau}{\tau_{Rd}} = \frac{11,62 \text{ KN/cm}^2}{12,59 \text{ KN/cm}^2} = 0,92 < 1,0$

Nachweis erfüllt 92 % Auslastung

Nachweis der Schweißnähte

Überprüfung der Schweißnahtgeometrie

$$t = 10 \text{ mm} \geq 3 \text{ mm}$$

$$2 \text{ mm} \leq a = 4 \text{ mm} \leq 0,7 \cdot \min t = 0,7 \cdot 10,2 \text{ mm} = 7,14 \text{ mm}$$

$$a = 4 \text{ mm} \geq \sqrt{\max t} - 0,5 = \sqrt{14,6} - 0,5 = 3,3 \text{ mm}$$

$$l = 200 \text{ mm} > 6 \cdot a = 6 \cdot 4 \text{ mm} = 24 \text{ mm}$$

$$> 30 \text{ mm}$$

$$< 150 \cdot a = 150 \cdot 4 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

$$A_w = \sum a \cdot l = 2 \cdot 0,4 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm} = 16 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_z}{A_w} = \frac{200 \text{ KN}}{16 \text{ cm}^2} = 12,5 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{w,R,d} = \frac{\alpha_w \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{0,95 \cdot 24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 20,72 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis: $\frac{\tau_{\parallel}}{\sigma_{w,R,d}} = \frac{12,5 \text{ KN/cm}^2}{20,72 \text{ KN/cm}^2} = 0,6 < 1,0$

Nachweis erfüllt 60% Auslastung

Nachweis der Schrauben

Überprüfung von Rand- und Lochabständen

$$e_1 : 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 18 = 21,6 < e_1 = 50 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 18 = 54 ; 6 \cdot t = 6 \cdot 8,6 = 51,6 \quad [\text{mm}]$$

$$e : 2,2 \cdot d_L = 2,2 \cdot 18 = 39,6 < e = 100 < 10 \cdot d_L = 10 \cdot 18 = 180 ; 20 \cdot t = 20 \cdot 8,6 = 172 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2 : 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 18 = 21,6 < e_2 = 50 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 18 = 54 ; 6 \cdot t = 6 \cdot 8,6 = 51,6 \quad [\text{mm}]$$

$$e_3 : 2,4 \cdot d_L = 2,4 \cdot 18 = 43,2 < e_3 = 100 < 10 \cdot d_L = 10 \cdot 18 = 180 ; 20 \cdot t = 20 \cdot 8,6 = 172 \quad [\text{mm}]$$

Ermittlung der Grenzabscherkraft

$$\alpha_a = 0,55 ; A = A_{\text{Sch}} = 2,01 \text{ cm}^2 ; f_{u,b,k} = 100 \text{ KN/cm}^2$$

$$V_{a,R,d} = \frac{A \cdot \alpha_a \cdot f_{u,b,k}}{\gamma_M} = \frac{3,14 \text{ cm}^2 \cdot 0,6 \cdot 100 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 100,5 \text{ KN}$$

Ermittlung der Grenzlochleibkraft

$t = 8,6 \text{ mm}$ „(Auf der sicheren Seite wird für t die Dicke des Steges-Lochaufweitung- eingesetzt)“ [(15)S.309]; $f_{y,k} = 24 \text{ KN/cm}^2$; $d_{\text{sch}} = 16 \text{ mm}$

Beiwert: α_L $e_2 = 50 \text{ mm} > 1,5 \cdot d_L = 1,5 \cdot 18 = 27 \text{ mm}$

$$e_3 = 100 \text{ mm} > 3,0 \cdot d_L = 3,0 \cdot 18 = 54 \text{ mm}$$

Randabstand in Kraftrichtung

$$\alpha_L = 1,1 \cdot e_1 / d_L - 0,3 = 1,1 \cdot 50 / 18 - 0,3 = 2,75$$

Lochabstand in Kraftrichtung

$$\alpha_L = 1,08 \cdot e / d_L - 0,77 = 1,08 \cdot 100 / 18 - 0,77 = 5,28 \leq 3,0$$

$$\text{Rand} \quad V_{l,R,d} = \frac{t \cdot d_{\text{Sch}} \cdot \alpha_L \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{0,86 \text{ cm} \cdot 1,6 \text{ cm} \cdot 2,75 \cdot 24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 82,6 \text{ KN}$$

$$\text{Loch} \quad V_{l,R,d} = \frac{t \cdot d_{\text{Sch}} \cdot \alpha_L \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{0,86 \text{ cm} \cdot 1,6 \text{ cm} \cdot 3,0 \cdot 24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 90,1 \text{ KN}$$

$$\text{Ermittlung von } \sum V_{R,d} = \sum \min(V_{a,R,d}; V_{l,R,d}) = 2 \cdot 82,6 \text{ KN} + 2 \cdot 90,1 \text{ KN} = 345 \text{ KN}$$

$$\text{Nachweis} \quad \frac{V_z}{\sum V_{R,d}} \leq 1,0 \quad ; \quad \frac{V_z}{\sum V_{R,d}} = \frac{200 \text{ KN}}{345 \text{ KN}} = 0,57 < 1,0$$

Nachweis erfüllt 57 % Auslastung

Auswertung

Auslastungen der Einzelnachweise

Nachweis	DIN EN 1993	DIN 18800
Grundwerkstoff des ausgeklinkten Trägers	52,00%	97,00%
Schubebeanspruchung im Trägersteg	85,00%	92,00%
Schweißverbindungen	60,00%	60,00%
Schraubverbindungen	51,00%	57,00%

Tab.31a Auslastungen der Einzelnachweise des Stirnplattenanschluss

Die Berechnung der Stirnplattenverbindung im Normenvergleich zeigt Abweichungen im Nachweis des Grundwerkstoffes des beidseitig ausgeklinkten Trägerprofils. Der Nachweis der maximalen Schubspannung im Restquerschnitt nach DIN 18800 ist zu 84% ausgelastet, wobei nach EC3 eine Auslastung von 52% erreicht wird. Der Nachweis der Spannungen wird im Interaktionsnachweis mit der abgeminderter Streckgrenze für den Nachweis der Biegebeanspruchung geführt. Die Auslastungsunterschiede im Nachweis des Grundwerkstoff sind auf den Ansatz der plastischen Tragfähigkeitsreserven nach DIN EN 1993 zurückzuführen. Der Nachweis der Schubbeanspruchung neben der Schweißnaht

wird nach DIN EN 1993 zu 85% ausgelastet, nach DIN 18800 zu 92 %. Die Unterschiede in den Auslastungen der Schubbeanspruchungen sind auf die Annahme der Grenzbeanspruchbarkeit zurückzuführen, die allgemein für den Nachweis der Schubbeanspruchung um 8% höher für den Nachweis nach DIN EN 1993 angenommen wird. Der Nachweis der Schweißnähte für reine Schubbeanspruchung zeigt keine Auslastungsunterschiede, weder in den beiden nach DIN EN 1993 angebotenen Verfahren, noch im Nachweisverfahren nach DIN 18800. Der Nachweis der Schraubenverbindung wird für die Grenzabscherkraft der Schrauben für die Berechnung nach Eurocode 3 maßgebend. Der Nachweis nach DIN 18800 hingegen wird für die Grenzlochleibkraft geführt. Auslastungen nach DIN EN 1993 51% nach DIN 18800 57%. Der Nachweis auf Ausreißen des Anschlussbereichs wird für die Stirnplattenverbindung nicht maßgebend. Die Auslastung beträgt 24 % und die Versagenslast 819 KN.

4.3 Fahnablechanschluss mit starrer Anschlussfläche nach DIN EN 1993

Erläuterung

Der nachzuweisende Fahnablechanschluss ist eine Träger-Stützen-Verbindung. Es wird ein IPE 500 Trägerprofil an eine HEB 450 Stütze angeschlossen. Als Verbindungsmittel werden Schrauben M20 4.6 verwendet. Der Nachweis des Grundwerkstoffs erfolgt nach dem Verfahren elastisch-elastisch für die Berechnung nach DIN EN 1993 und DIN 18800. Der Nachweis der Schweißnähte nach DIN EN 1993 wird für das richtungsbezogene Nachweiseverfahren geführt. Die angegebenen Einwirkungen sind Bemessungslasten.

Trägerprofile: IPE 500 an HEB 450

Fahnablech: Bl 14×110×380mm

Schrauben: M20 4.6 $d_L = 21$ mm

Schweißnähte: Kehlnähte $a = 5$ mm

Skizze

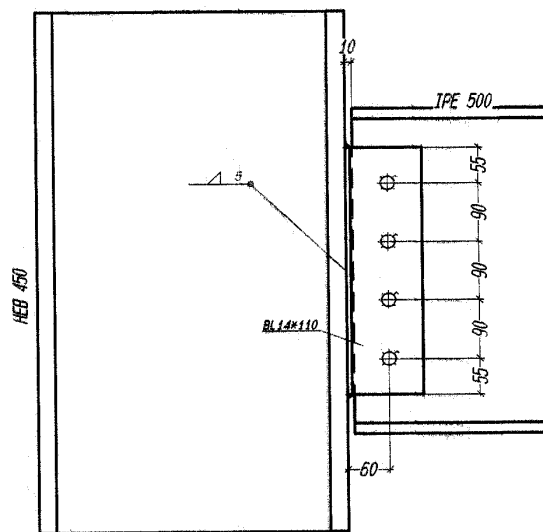


Abb.47 Fahnablechanschluss

Schnittgrößen

$$V_{z,Ed} = 160 \text{ kN} \quad M_1 = V_{z,Ed} \cdot e_1 = 160 \text{ kN} \cdot 6 \text{ cm} = 960 \text{ kNm}$$

Nachweis des Grundwerkstoffs des Anschlussblechs

Der Nachweis des Grundwerkstoffs des Anschlussblechs wird nach dem Verfahren elastisch-elastisch nach Abschnitt 2.2.2 geführt.

Querschnittswerte nach Kahlmeyer (14) S.165:

$$W_y = \frac{t_{bl} \cdot h_{bl}^2}{6} = \frac{1,4 \cdot 38^2}{6} = 336,9 \text{ cm}^3$$

$$\text{wenn } \frac{h_{bl}}{t_{bl}} = \frac{380}{14} = 27,14 > 10 \quad ; \quad W_T = \frac{h_{bl} \cdot t_{bl}^2}{3} = \frac{38 \cdot 1,4^2}{3} = 24,83 \text{ cm}^3$$

$$\text{wenn } \frac{h_{bl}}{t_{bl}} < 10 \quad ; \quad W_T = \frac{h_{bl} \cdot t_{bl}^2}{6}$$

Schubspannung im Anschlussblech

$$\max \tau_l = \frac{1,5 \cdot V_{z,Ed}}{A_{bl}} = \frac{1,5 \cdot 160 \text{ KN}}{1,4 \text{ cm} \cdot 38 \text{ cm}} = 4,51 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Spannung aus Torsionsbeanspruchung

$$\max \tau_T = \frac{M_T}{W_T} = \frac{193 \text{ KNcm}}{24,53 \text{ cm}^3} = 7,7 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

„Da beide Maximalwerte in der Mitte einer der beiden langen Seiten auftreten, sind sie zu addieren.“[(14) S.165]

$$\tau_{Ed} = \tau_l + \tau_T = 4,51 \text{ KN/cm}^2 + 7,7 \text{ KN/cm}^2 = 12,21 \text{ KN/cm}^2$$

$$\text{Nachweis } \frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})} = \frac{12,21 \text{ KN/cm}^2}{23,5 \text{ KN/cm}^2 / (\sqrt{3} \cdot 1,0)} = 0,89 < 1,0$$

Nachweis erfüllt 89% Auslastung

Beanspruchung aus Biegemoment

$$\sigma_{\perp} = \frac{M_1}{W_y} = \frac{960 \text{ KNcm}}{336,9 \text{ cm}^3} = 2,84 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < 0,5 \cdot \sigma_{R,d} = 0,5 \cdot 24 \frac{\text{KN/cm}^2}{1,1} = 10,9 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis erfüllt

Nachweis der Schweißnähte

Überprüfung der Schweißnahtgeometrie

$$t = 14 \text{ mm} > \min t = 4 \text{ mm}$$

$$a_w = 5 \text{ mm} > \min a_w = 3 \text{ mm}$$

$$a = 5 \text{ mm} \geq \sqrt{\max t} - 0,5 = \sqrt{26} - 0,5 = 4,6 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff}} = 150 \text{ mm} > 6 \cdot a = 6 \cdot 5 \text{ mm} = 30 \text{ mm} \\ < 150 \cdot a = 150 \cdot 5 \text{ mm} = 750 \text{ mm}$$

Nachweis nach dem richtungsbezogenen Verfahren

Nachweis der Normalspannung

$$\sigma_{w,\perp} = \tau_{w,\perp} = \frac{M_1}{W_w} \cdot \sin(45^\circ) \quad W_w - \text{Widerstandsmoment der Schweißnaht}$$

$$W_w = \frac{2 \cdot a_w \cdot h_{bl}^2}{6} = \frac{2 \cdot 0,5 \text{ cm} \cdot 38 \text{ cm}^2}{6} = 240,67 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{w,\perp} = \tau_{w,\perp} = \frac{960 \text{ KNcm}}{240,68 \text{ cm}^3} \cdot 0,707 = 2,75 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Nachweis: } \sigma_{\perp} = 2,75 \text{ KN/cm}^2 \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 36 \text{ KN/cm}^2}{1,25} = 25,9 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis erfüllt

Nachweis der Schubspannung

Schubspannung aus Querkraft $V_{z,Ed}$

$$A_w = \sum a \cdot l_{\text{eff}} = 2 \cdot 0,5 \text{ cm} \cdot 38 \text{ cm} = 38 \text{ cm}^2$$
$$\tau_{\parallel,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{A_w} = \frac{160 \text{ KN}}{38 \text{ cm}^2} = 4,21 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Zur Ermittlung der Spannungen, die auf die Schweißnähte zwischen Fahnglech und Stützengurt wirken, gilt „Da die umlaufende Kehlnaht einen dünnwandigen Hohlquerschnitt bildet, wird die Bredtsche Formel benutzt.“ [(14) S.164]

Ermittlung der Schubspannungen aus dem Torsionsmoment M_T durch Anwendung der Bredtschen Formel nach [(5) S.4.36 2.3.1] und [(14) Seite 164]:

$$\tau_{w,T} = \frac{M_T}{2 \cdot A_m \cdot \min t} \quad \min t = a_w = 5 \text{ mm}$$

A_M - eingeschlossene Fläche

$$A_M = (t_{bl} + a_w) \cdot (h_{bl} + a_w) = (1,4 \text{ cm} + 0,5 \text{ cm}) \cdot (38 \text{ cm} + 0,5 \text{ cm}) = 73,15 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{w,T} = \frac{M_T}{2 \cdot A_m \cdot \min t} = \frac{193,6 \text{ KNcm}}{2 \cdot 73,15 \text{ cm}^2 \cdot 0,5 \text{ cm}} = 2,64 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\max \tau_w = \tau_{w,T} + \tau_{w,\parallel} = 2,64 \text{ KN/cm}^2 + 4,21 \text{ KN/cm}^2 = 6,85 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36 \text{ KN/cm}^2}{0,8 \cdot 1,25} = 36 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Nachweis : } \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{(2,75^2 + 3 \cdot (2,75^2 + 6,75^2))} = 12,92 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 12,92 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 36 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis erfüllt 36 % Auslastung

Nachweis der Schrauben

Aufgrund der starren Anschlussfläche wird der Momentennullpunkt im „Schwerpunkt des Schraubenbildes“ [(10) S.99] angenommen. Der Nachweis der Schrauben erfolgt mit reiner Querkraft.

Überprüfung der Lochabstände

$$e_1 : 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_1 = 55 < 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 12 + 40 = 88 \quad [\text{mm}]$$

$$p_1 : 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 21 = 46,2 < p_1 = 90 < 14 \cdot t = 14 \cdot 12 = 168 ; 200 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2 : 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_2 = 50 < 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 10 + 40 = 88 \quad [\text{mm}]$$

Abscherkraft der Schrauben

$a_v = 0,6$ Gewinde außerhalb der Scherfuge

$$F_{v,Rd} = \frac{a_v \cdot A \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 40 \text{ KN/cm}^2 \cdot 3,14 \text{ cm}^2}{1,25} = 60,3 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Lochleibungskraft der Schrauben

$t = 10,8 \text{ mm}$; $d = 20 \text{ mm}$; $f_u = 360 \text{ KN/cm}^2$

Randschraube

$$\begin{aligned} \alpha_b &= \min \quad - \quad \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{55 \text{ mm}}{3 \cdot 21 \text{ mm}} = 0,873 \\ &\quad - \quad \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{400 \text{ KN/cm}^2}{360 \text{ KN/cm}^2} = 1,1 \\ &\quad - \quad 1,0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_1 &= \min \quad - \quad \frac{2,5 \cdot e_2}{d_0} - 1,7 = \frac{2,5 \cdot 50 \text{ mm}}{21 \text{ mm}} - 1,7 = 4,25 \\ &\quad - \quad \frac{1,4 \cdot p_2}{d_0} - 1,7 = \frac{1,4 \cdot 90 \text{ mm}}{21 \text{ mm}} - 1,7 = 4,3 \\ &\quad - \quad 2,5 \end{aligned}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot t \cdot d \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,873 \cdot 1,2 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 36 \text{ KN/cm}^2}{1,25} = 150,85 \text{ KN}$$

Innenschraube

$$\alpha_b = \min \quad - \quad \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{90 \text{ mm}}{3 \cdot 21 \text{ mm}} - \frac{1}{4} = 1,18$$

$$- \quad \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{400 \text{ KN/cm}^2}{360 \text{ KN/cm}^2} = 1,1$$

$$- \quad 1,0$$

$$k_1 = \min \quad - \quad \frac{1,4 \cdot p_2}{d_0} - 1,7 = \frac{1,4 \cdot 90 \text{ mm}}{21 \text{ mm}} - 1,7 = 4,3$$

$$- \quad 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot t \cdot d \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 36 \text{ KN/cm}^2}{1,25} = 172,8 \text{ KN}$$

Die Grenzscherkraft der Schrauben wird für den Nachweis maßgebend.

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{4} = \frac{160 \text{ KN}}{4} = 40 \text{ KN}$$

Nachweis : $\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{40 \text{ KN}}{60,3 \text{ KN}} = 0,66 < 1,0$

Nachweis erfüllt 66% Auslastung

4.4 Fahnenblechanschluss mit starrer Anschlussfläche nach DIN 18800

Skizze: siehe 4.3

Schnittgrößen: $V_z = 160 \text{ KN}$ $M_1 = V_z \cdot e_1 = 160 \text{ KN} \cdot 6 \text{ cm} = 960 \text{ KNcm}$

Ermittlung des Torsionsmoment aus außermittiger Lasteinleitung

$$M_T = \frac{V_z \cdot (t_s + t_{bl})}{2} = \frac{135 \text{ KN} \cdot (1,02 \text{ cm} + 1,4 \text{ cm})}{2} = 193,6 \text{ KNcm}$$

Nachweis des Grundwerkstoffs des Anschlussblechs

Querschnittswerte nach Kahlmeyer (14) S.165:

$$W_y = \frac{t_{bl} \cdot h_{bl}^2}{6} = \frac{1,4 \cdot 38^2}{6} = 336,9 \text{ cm}^3$$

$$\text{wenn } \frac{h_{bl}}{t_{bl}} = \frac{380}{14} = 27,14 > 10 \quad ; \quad W_T = \frac{h_{bl} \cdot t_{bl}^2}{3} = \frac{38 \cdot 1,4^2}{3} = 24,83 \text{ cm}^3$$

$$\text{wenn } \frac{h_{bl}}{t_{bl}} < 10 \quad ; \quad W_T = \frac{h_{bl} \cdot t_{bl}^2}{6}$$

Ermittlung der maximalen Schubspannung aus Querkraft V_z

$$\max \tau_l = \frac{1,5 \cdot V_z}{A_{bl}} = \frac{1,5 \cdot 160 \text{ KN}}{1,4 \text{ cm} \cdot 38 \text{ cm}} = 4,51 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Ermittlung der Spannung aus dem Torsionsmoment M_T

$$\max \tau_T = \frac{M_T}{W_T} = \frac{193,6 \text{ KNcm}}{24,83 \text{ cm}^3} = 7,7 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

„Da beide Maximalwerte in der Mitte einer der beiden langen Seiten auftreten, sind sie zu addieren“ [(14) S.165]

$$\tau = \tau_l + \tau_T = 4,51 \text{ KN/cm}^2 + 7,7 \text{ KN/cm}^2 = 12,21 \text{ KN/cm}^2$$

Grenzs Schubspannung

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = \frac{24 \text{ KN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 12,59 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{\tau}{\tau_{R,d}} = \frac{12,21 \text{ KN/cm}^2}{12,59 \text{ KN/cm}^2} = 0,97 < 1,0$$

Nachweis erfüllt 97 % Auslastung

Ermittlung der Normalspannung aus dem Exzentrizitätsmoment M_1

$$\sigma_{\perp} = \frac{M_1}{W_y} = \frac{960 \text{ KNcm}}{336,9 \text{ cm}^3} = 2,84 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < 0,5 \cdot \sigma_{R,d} = \frac{0,5 \cdot 24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 10,9 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Die Grenzbedingung $\sigma_{\perp} < 0,5 \cdot \sigma_{R,d}$ ist eingehalten, sodass der Vergleichsspannungsnachweis nicht geführt werden muss.

Nachweis der Schweißverbindung

Gewählt $a_w = 5 \text{ mm}$, Nahtgüte nicht nachgewiesen $\alpha_w = 0,95$

Überprüfung der Schweißnahtgeometrie

$$t = 14 \text{ mm} > 3 \text{ mm}$$

$$2 \text{ mm} \leq a = 5 \text{ mm} \leq 0,7 \cdot \min t = 0,7 \cdot 10,2 \text{ mm} = 7,14 \text{ mm}$$

$$a = 5 \text{ mm} \geq \sqrt{\max t} - 0,5 = \sqrt{26} - 0,5 = 4,6 \text{ mm}$$

Das a-Maß der Schweißnaht wird nach DIN 18800 mit $a_w = 5 \text{ mm}$ festgelegt.

$$l = 380 \text{ mm} < 6 \cdot a = 6 \cdot 5 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$

$$> 30 \text{ mm}$$

$$< 150 \cdot a = 150 \cdot 5 \text{ mm} = 750 \text{ mm}$$

Zur Ermittlung der Spannungen, die auf die Schweißnähte zwischen Fahnblech und Stützengurt wirken gilt: „Da die umlaufende Kehlnaht einen dünnwandigen Hohlquerschnitt bildet, wird die Bredtsche Formel benutzt.“ [(14) S.164]:

Ermittlung der Spannungen aus dem Torsionsmoment: M_T durch Anwendung der Bredtschen Formel nach [(5) S.4.36 2.3.1 und (14) S.164]:

$$\tau_{w,T} = \frac{M_T}{2 \cdot A_m \cdot \min t} \quad ; \quad \min t = a_w = 5 \text{ mm}$$

A_M - eingeschlossene Fläche

$$A_M = (t_{bl} + a_w) \cdot (h_{bl} + a_w) = (1,4 \text{ cm} + 0,5 \text{ cm}) \cdot (38 \text{ cm} + 0,5 \text{ cm}) = 73,15 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{w,T} = \frac{M_T}{2 \cdot A_m \cdot \min t} = \frac{193,6 \text{ KNcm}}{2 \cdot 73,15 \text{ cm}^2 \cdot 0,5 \text{ cm}} = 2,64 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Schubspannung aus der Querkraft V_z

$$\tau_{w,l} = \frac{V_z}{A_w} = \frac{160 \text{ KN}}{2 \cdot 0,5 \text{ cm} \cdot 38 \text{ cm}} = 4,21 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\max \tau_w = \tau_{w,T} + \tau_{w,l} = 2,64 \text{ KN/cm}^2 + 4,21 \text{ KN/cm}^2 = 6,85 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{w,R,d} = \frac{\alpha_w \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{0,95 \cdot 24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 20,7 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis : $\frac{\max \tau_w}{\sigma_{w,R,d}} = \frac{6,85 \text{ KN/cm}^2}{20,72 \text{ KN/cm}^2} = 0,33 < 1,0$

Nachweis der Normalspannungsbelastung auf die Schweißnaht:

$$\max \sigma_w = \frac{M_l}{W_w} \quad W_w \text{ -Widerstandsmoment der Schweißnaht}$$

$$W_w = \frac{2 \cdot a_w \cdot h_{bl}^2}{6} = \frac{2 \cdot 0,5 \text{ cm} \cdot 38 \text{ cm}^2}{6} = 240,67 \text{ cm}^3$$

$$\max \sigma_w = \frac{960 \text{ KNcm}}{240,68 \text{ cm}^3} = 3,9 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Nachweis : } \frac{\sigma_w}{\sigma_{w,R,d}} = \frac{3,9 \text{ KN/cm}^2}{20,72 \text{ KN/cm}^2} = 0,19 < 1,0$$

Nachweis erfüllt 19 % Auslastung

Ermittlung der Vergleichsspannung:

$$\sigma_{w,v} = \sqrt{\max \sigma_w^2 + \max \tau_w^2} = \sqrt{(6,85^2 + 3,9^2)} = 7,88 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,d}} = \frac{7,88 \text{ KN/cm}^2}{20,72 \text{ KN/cm}^2} = 0,38 < 1,0$$

Nachweis erfüllt 38 % Auslastung

Nachweis der Schrauben

Überprüfung von Rand- und Lochabständen

$$e_1 : 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_1 = 55 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 21 = 63 ; 6 \cdot t = 6 \cdot 12 = 72 \quad [\text{mm}]$$

$$e : 2,2 \cdot d_L = 2,2 \cdot 21 = 46,2 < e = 90 < 6 \cdot d_L = 6 \cdot 21 = 126 ; 12 \cdot t = 12 \cdot 21 = 256 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2 : 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_2 = 50 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 21 = 63 ; 6 \cdot t = 6 \cdot 12 = 72 \quad [\text{mm}]$$

Ermittlung der Schraubenkräfte

Aufgrund der starren Anschlussfläche wird der Momentennullpunkt im „Schwerpunkt des Schraubenbildes“ [(10) S. 99], angenommen. Der Nachweis der Schrauben erfolgt mit reiner Querkraft. $V_z = 160 \text{ KN}$

Ermittlung der Grenzabscherkraft

$$\alpha_a = 0,6 ; A = A_{\text{Sch}} = 3,14 \text{ cm}^2 ; f_{u,b,k} = 40 \text{ KN/cm}^2$$

$$V_{a,R,d} = \frac{A \cdot \alpha_a \cdot f_{u,b,k}}{\gamma_M} = \frac{3,14 \text{ cm}^2 \cdot 0,6 \cdot 40 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 68,5 \text{ KN}$$

Ermittlung der Grenzlochleibkraft $f_{y,k} = 24 \text{ KN/cm}^2 ; t = 1,08 \text{ cm} ; d_{\text{sch}} = 2,0 \text{ cm}$

$$\text{Beiwert - } \alpha_L \quad e_2 = 50 \text{ mm} > 1,5 \cdot d_L = 1,5 \cdot 21 = 31,5 \text{ mm}$$

Randabstand in Kraftrichtung

$$\alpha_L = 1,1 \cdot e_1 / d_L - 0,3 = 1,1 \cdot 55 / 21 - 0,3 = 2,58$$

Lochabstand in Kraftrichtung

$$\alpha_L = 1,08 \cdot e/d_L - 0,77 = 1,08 \cdot 90/21 - 0,77 = 3,85 = 3,0$$

$$V_{l,R,d} = \frac{t \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_L \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{1,08 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,58 \cdot 24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 121,6 \text{ KN}$$

$$V_{l,R,d} = \frac{t \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_L \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{1,08 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 3,0 \cdot 24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 141,38 \text{ KN}$$

$$\text{Nachweis } \frac{V_z}{\sum V_{R,d}} \leq 1,0 \quad ; \quad \frac{V_z}{n \cdot V_{a,R,d}} = \frac{160 \text{ KN}}{4 \cdot 68,5 \text{ KN}} = 0,58 < 1,0$$

Nachweis erfüllt 58 % Auslastung

Auswertung

	DIN EN 1993	DIN 18800
Grundwerkstoff	89,00%	97,00%
Schweißverbindungen	36,00%	38,00%
Schraubverbindungen	66,00%	58,00%

Tab.31b Auslastungen der Einzelnachweise des Fahnablehanschluss

Der Nachweis der Träger-Stützen-Verbindung mittels Fahnablehanschluss an eine „starre“ Anschlussfläche wird für die Schubbeanspruchung durch Querkraft und Torsion für den Grundwerkstoff maßgebend. Der Nachweis wurde für beide Stahlbaunormen nach dem angebotenen Verfahren elastisch-elastisch geführt und zeigt Abweichungen in den Auslastungen. Schubbeanspruchungen werden maßgebend für den Nachweis nach DIN EN 1993 und es wird eine 11% geringere Auslastung für den Grundwerkstoff festgestellt. Diese Abweichungen zur DIN 18800 sind auf die unterschiedlichen zulässigen Grenzbearbeitbarkeiten zurückzuführen. Für beide Nachweisverfahren kann auf den Vergleichsspannungsnachweis verzichtet werden, da nur geringe Normalspannungen aus Biegemomenten vorhanden sind. Der Nachweis der Schweißnähte zeigt geringe Auslastungsunterschiede 36% nach DIN EN 1993 und 38% nach DIN 18800. Der Anteil der Schubbeanspruchung der Schweißnähte ist verhältnismäßig groß. Für den Nachweis der Schrauben erweist sich die Grenzabscherkraft als maßgebend und es werden 8% bessere Auslastungen für den Nachweis nach DIN 18800 ermittelt.

4.5 Doppelwinkelanschluss mit bündiger Oberkante nach DIN EN 1993

Erläuterung

Der nachzuweisende Doppelwinkelanschluss ist eine Träger-Träger-Verbindung, die mit bündigen Oberkanten ausgeführt ist. Es wird ein IPE 400 an ein IPE 500 Profil angeschlossen und eine einseitige Ausklinkung vorgesehen. Als Verbindungsmittel werden Schrauben M20 4.6 verwendet. Der Nachweis des Grundwerkstoff erfolgt nach dem Verfahren elastisch-elastisch für die Berechnung nach DIN EN 1993 und nach dem Verfahren elastisch-elastisch für die Berechnung DIN 18800. Die angegebenen Einwirkungen sind Bemessungslasten.

Trägerprofile: IPE 400 an IPE 500

Winkel : L 100×12 mm

Schrauben: M 20 4.6 Gewinde außerhalb der Scherfuge Lochspiel 2mm

Skizze

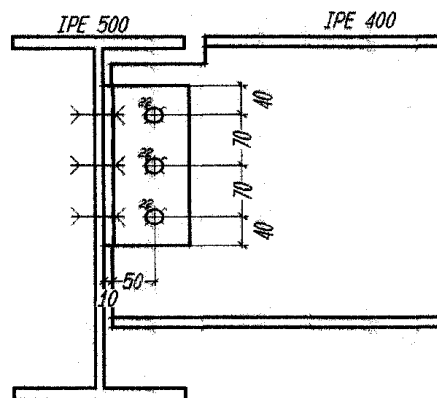


Abb. 48 Doppelwinkelanschluss

Schnittgrößen: $V_{z,Ed} = 170 \text{ kN}$

Der Nachweis einseitig ausgeklinkter Trägerprofile erfolgt nach dem Verfahren elastisch-elastisch [nach (7) S.144].

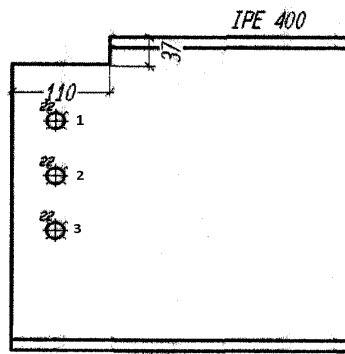


Abb.49 Ausgeklinkter Träger des Doppelwinkelanschlusses

Ermittlung der Querschnittswerte des geschwächten Trägerprofils:

Stegdicke	$t_w = 8,6 \text{ mm}$	Länge der Ausklinkung	$l_a = 110 \text{ mm}$
Breite des Trägers	$b_f = 180 \text{ mm}$	Höhe der Ausklinkung	$h_a = 360 \text{ mm}$
Gurtdicke	$t_f = 13,5 \text{ mm}$		

Schwerpunkt des geschwächten Querschnitt (gemessen von unten):

$$z_s = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A_i} = \frac{(34,65 \text{ cm} \cdot 0,86 \text{ cm} \cdot 18,625 \text{ cm} + 1,35 \text{ cm} \cdot 18 \text{ cm} \cdot 1,35 \text{ cm} / 2)}{(34,65 \text{ cm} \cdot 0,86 \text{ cm} + 1,35 \text{ cm} \cdot 18 \text{ cm})} = 10,6 \text{ cm}$$

Höhe der Fläche oberhalb des Schwerpunktes :

$$z_o = \left(h_s + \frac{t_f}{2} \right) - z_s = \left(34,65 \text{ cm} + \frac{1,35 \text{ cm}}{2} \right) - 10,6 \text{ cm} = 24,75 \text{ cm}$$

Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung des ausgeklinkten Trägers

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} + A_i \cdot z_i^2 = \frac{(0,86 \cdot 34,65^3)}{12} + (18 \cdot 1,35) \cdot \left(10,6 - \frac{1,35}{2} \right)^2 = 5375,13 \text{ cm}^4$$

Statisches Momentes ausgeklinkten Trägers:

$$S_y = \frac{t_w \cdot z_o^2}{2} = \frac{0,86 \cdot 24,75^2}{2} = 163,47 \text{ cm}^3$$

Nachweis des Grundwerkstoffs

Ermittlung der Schubspannung [nach (4) S.8.16]

$$\text{Nachweis } \max \tau_{\parallel} = \frac{V_{z,Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{170 \text{ KN} \cdot 263,4 \text{ cm}^3}{5375,13 \text{ cm}^4 \cdot 0,86 \text{ cm}} = 9,67 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < \tau_{Rd} = 13,57 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$
$$\tau_{Rd} = \frac{f_y}{(\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})} = \frac{23,5 \text{ KN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 13,57 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis erfüllt.71 % Auslastung

Ermittlung der Normalspannung aus Momentenbelastung der Ausklinkung

$$M_a = V_{z,Ed} \cdot l_a = 170 \text{ KN} \cdot 11 \text{ cm} = 1870 \text{ KNcm}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{M_a}{I_y} \cdot z_o = \frac{1870 \text{ KNcm}}{5375,13 \text{ cm}^4} \cdot 24,75 \text{ cm} = 8,61 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Nachweis: } \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{Rd}} = \frac{8,61 \text{ KN/cm}^2}{f_y / \gamma_{M0}} = \frac{8,61 \text{ KN/cm}^2}{23,5 \text{ KN/cm}^2 / 1,0} = 0,36 < 1,0$$

Nachweis erfüllt.36 % Auslastung

Nachweis der Vergleichsspannung an der Stelle 1

$$\sigma_{\parallel} = \frac{M_a}{I_y} \cdot z_1 = \frac{1870 \text{ KNcm}}{5375,13 \text{ cm}^4} \cdot 9,25 \text{ cm} = 3,2 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} ; \max \tau_{\parallel} = 9,67 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{(\sigma_{\parallel}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{(3,2^2 + 3 \cdot 9,67^2)} = 17,05 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} <$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{23,5 \text{ KN/cm}^2}{1,0} = 23,5 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis erfüllt.73 % Auslastung

Nachweis des durch die Ausklinkung geschwächten Trägerprofils ist erfüllt .

Nachweis der Schraubenverbindung zwischen Winkel und Trägersteg

Überprüfung der Lochabstände

$$e_1 : 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 < e_1 = 40 < 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 8,6 + 40 = 74 \quad [\text{mm}]$$

$$p_1 : 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 22 = 48,8 < p_1 = 70 < 14 \cdot t = 14 \cdot 8,6 = 120 ; 200 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2 : 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 < e_2 = 40 < 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 10 + 40 = 88 \quad [\text{mm}]$$

Ermittlung der Schraubenkräfte:

$$\text{Grenzkriterium: } \frac{h_1}{b_1} = \frac{22}{1} = 22 > 3,0 \quad \text{Ermittlung nach dem f-Verfahren} \quad f = 1,0$$

$$M_1 = V_{z,Ed} \cdot e_1 = 170 \text{ KN} \cdot 6 \text{ cm} = 1020 \text{ KNcm}$$

$$V_{z,Ed} = 170 \text{ KN}$$

$$N_v = \frac{V_{z,Ed}}{n} = \frac{170 \text{ KN}}{3} = 56,67 \text{ KN} ; \quad N_{1x} = \frac{M_1}{h_1} \cdot f = \frac{1020 \text{ KN}}{14 \text{ cm}} = 72,9 \text{ KN}$$

$$N_R = \sqrt{(N_v^2 + N_{1x}^2)} = \sqrt{(56,67^2 + 72,9^2)} = 92,33 \text{ KN}$$

Grenzabscherkraft der Schrauben $n=2$ (2-schnittige Verbindung)

$$n \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 60,8 \text{ KN} = 120,6 \text{ KN} \quad \text{nach Tabelle 14}$$

Grenzlochleibungskraft (nach Tabelle 49 im Anhang)

Schraube 1 (nach Abb.46) :

in y-Richtung :

$$F_{y,l,Rd} = t_w \cdot F_{l,Rd} = 0,86 \cdot 144 \text{ KN} = 123,84 \text{ KN} \quad (e_1 = 70 \text{ mm})$$

in x-Richtung :

$$F_{x,l,Rd} = t_w \cdot F_{l,Rd} = 0,86 \cdot 87,3 \text{ KN} = 75,1 \text{ KN} \quad (e_2 = 40 \text{ mm})$$

Schraube 2 (nach Abb.46):

$$\text{in y- Richtung : } F_{y,l,Rd} = t_w \cdot F_{l,Rd} = 0,86 \cdot 117 \text{ KN} = 100,62 \text{ KN} \quad (p_1 = 70 \text{ mm})$$

Schraube 3 (nach Abb.46):

in y- Richtung : $F_{y,l,Rd} = t_w \cdot F_{l,Rd} = 0,86 \cdot 117 \text{ KN} = 100,62 \text{ KN}$ ($p_1 = 70 \text{ mm}$)

Nachweis:

Abscherung der Schrauben:

$$\frac{N_R}{(m \cdot F_{v,Rd})} = \frac{92,33 \text{ KN}}{120,6 \text{ KN}} = 0,77 < 1,0$$

Lochleibung in y – Richtung :

$$\frac{V_{z,Ed}}{\sum F_{y,l,Rd}} = \frac{170 \text{ KN}}{(123,84 \text{ KN} + 100,62 \text{ KN} + 100,62 \text{ KN})} = 0,52 < 1,0$$

Lochleibung in x- Richtung (maßgebende Schraube 1):

$$\frac{N_{lx,Ed}}{F_{x,l,Rd}} = \frac{72,9 \text{ KN}}{75,9 \text{ KN}} = 0,97 < 1,0$$

Nachweise erfüllt.

Nachweis der Kontaktpressung am Winkelprofil:

Maße der Kontaktfläche [nach (7) S.143]:

Höhe $h_D = 2 \text{ cm}$; Die Höhe der Kontaktfläche wird geschätzt

„Der Verteilungswinkel ist für eine horizontale Schraubenreihe $\alpha = 45^\circ$. Für mehrere horizontale Schraubenreihen wird $\alpha = 60^\circ$ angenommen, um das aus dem Versatz der Horizontalkräfte resultierende Torsionsmoment möglichst klein zu halten.“ [(7) S.143].

$$\alpha = 60^\circ, \quad b_D = 1,58 \cdot t + 0,423 \cdot r - \Delta l = 1,58 \cdot 1,2 \text{ cm} + 0,423 \cdot 1,2 \text{ cm} - 1 \text{ cm} = 1,09 \text{ cm}$$

$$A_D = h_D \cdot b_D = 2 \text{ cm} \cdot 1,09 \text{ cm} = 2,18 \text{ cm}^2$$

Nachweis der Druckbeanpruchung $\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$

mit

$$M_x = \frac{V_{z,Ed} \cdot e_A}{2} = \frac{170 \text{ KN} \cdot 6 \text{ cm}}{2} = 510 \text{ KNcm}$$

$$I_p = \sum z_i^2 = 3^2 + 10^2 + 17^2 = 398 \text{ cm}^2$$

$$N_{Ed} = \frac{M_x}{I_p} \cdot z_i = \frac{510 \text{ KNcm}}{398 \text{ cm}^2} \cdot (3 \text{ cm} + 10 \text{ cm} + 17 \text{ cm}) = 38,44 \text{ KN}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_D \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,18 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2}{1,0} = 52,32 \text{ KN}$$

Nachweis

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{38,44 \text{ KN}}{52,32 \text{ KN}} = 0,73 \leq 1,0$$

Nachweis erfüllt 73% Auslastung

Nachweis der Schraubenverbindung zwischen Anschlussfläche-Trägersteg (IPE 500)

Nachweis [nach (14) S.157]

$$M_x = \frac{V_{z,Ed} \cdot e_A}{2} = \frac{170 \text{ KN} \cdot 6 \text{ cm}}{2} = 510 \text{ KNcm}$$

Polares Flächenträgheitsmoment bezogen auf den Druckpunkt

$$I_p = \sum z_i^2 = 3^2 + 10^2 + 17^2 = 398 \text{ cm}^2$$

$$V_{az} = \frac{V_z/2}{n} = \frac{170 \text{ KN}/2}{3} = 28,3 \text{ KN}$$

n-Anzahl der im Winkelschenkel vorhandenen Schrauben

$$V_{ay} = \frac{M_x \cdot z_1}{I_p} = \frac{510 \text{ KNcm} \cdot 17 \text{ cm}}{398 \text{ cm}^2} = 21,8 \text{ KN}$$

$$\max V_a = \sqrt{(V_{az}^2 + V_{ay}^2)} = 35,78 \text{ KN}$$

Die Grenzübscherkraft der Schrauben wird maßgebend: (n=1 einschnittige Verbindung)

$$n \cdot V_{a,R,d} = 1 \cdot 60,3 \text{ KN} = 60,3 \text{ KN}$$

Nachweis

$$\frac{\max V_a}{(n \cdot F_{v,Rd})} = \frac{35,75 \text{ KN}}{60,8 \text{ KN}} = 0,59 < 1,0$$

Nachweis erfüllt 59 % Auslastung

Nachweis der Anschlusswinkel

Beanspruchung pro Winkelprofil $\frac{M_1}{2} = 510 \text{ KNcm}$; $\frac{V_{z,Ed}}{2} = 85 \text{ KN}$

Grenzkriterium $\frac{A_{\text{net}} \cdot 0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$

$$A_{\text{net}} = 22 \text{ cm} \cdot 1,2 \text{ cm} - 1,5 \text{ cm} \cdot 2,2 \text{ cm} \cdot 1,2 \text{ cm} = 22,44 \text{ cm}^2$$

$$A = 22 \text{ cm} \cdot 1,2 \text{ cm} = 26,4 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{\text{net}} \cdot 0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{22,44 \text{ cm}^2 \cdot 0,9 \cdot 36 \text{ KN/cm}^2}{1,25} = 581,65 \text{ cm}^2 < \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26,4 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2}{1,0} = 620 \text{ cm}^2$$

→ Lochabzug muss berücksichtigt werden.

Ermittlung des Schwerpunktes des lochgeschwächten Rechteckquerschnitts:

$$z_s = \frac{h - \sum d_0}{2} = \frac{22 \text{ cm} - 1,5 \cdot 2,2 \text{ cm}}{2} = 9,35 \text{ cm}$$

$$W_{pl} = S_u + S_o \quad \text{mit}$$

$$S_u = \frac{t \cdot (h - z_s)^2}{2} - \sum d_0 \cdot t \cdot z_i = \frac{1,2 \text{ cm} \cdot (22 \text{ cm} - 9,35 \text{ cm})^2}{2} - 1,5 \cdot 1,2 \text{ cm} \cdot 2,2 \text{ cm} \cdot 8,65 \text{ cm} = 61,8 \text{ cm}^3$$

$$S_o = \frac{t \cdot z_s^2}{2} = \frac{1,2 \text{ cm} \cdot (9,35 \text{ cm})^2}{2} = 52,45 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl} = S_u + S_o = 61,8 \text{ cm}^3 + 52,45 \text{ cm}^3 = 114,2 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{114,2 \text{ cm}^3 \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2}{1,0} = 2684 \text{ KNcm}$$

Nachweis der Biegebeanspruchung $\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{510 \text{ KNcm}}{2684 \text{ KNcm}} = 0,19 \leq 1,0$

Nachweis erfüllt 19 % Auslastung

Nachweis der Querkraftbeanspruchung $\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 1,0$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{(22 \text{ cm} \cdot 1,2 \text{ cm}) \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 358,2 \text{ KN}$$

Nachweis $\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} = \frac{85 \text{ KN}}{358,2 \text{ KN}} = 0,23 \leq 1,0$

Nachweis erfüllt 23% Auslastung

Aufgrund der geringen Auslastung kann auf den Interaktionsnachweis verzichtet werden.

Nachweis auf flächiges Ausreißen des Anschlussbereichs

$$a_1 = 7 \text{ cm} + 7 \text{ cm} + 7 \text{ cm} = 21 \text{ cm} \quad a_2 = 5 \text{ cm}$$

$$A_{nt} = t_w \cdot (a_2 - 0,5 \cdot d_0) = 0,86 \text{ cm} \cdot (5,0 \text{ cm} - 0,5 \cdot 2,2 \text{ cm}) = 3,35 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = t_w \cdot (a_1 - 1,5 \cdot d_0) = 0,86 \text{ cm} \cdot (21 \text{ cm} - 1,5 \cdot 2,2 \text{ cm}) = 15,22 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} V_{eff2,Rd} &= \frac{0,5 \cdot A_{nt} \cdot f_u}{\gamma_{m2}} + \frac{A_{nv} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 3,35 \text{ cm}^2 \cdot 36 \text{ KN/cm}^2}{1,25} + \frac{15,22 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \\ &= 247,5 \text{ KN} \end{aligned}$$

Nachweis $\frac{V_{z,Ed}}{V_{eff2,Rd}} = \frac{170 \text{ KN}}{247,5 \text{ KN}} = 0,7 < 1,0$

Nachweis erfüllt 70 % Auslastung

4.6 Doppelwinkelanschluss mit bündiger Oberkante nach DIN 18800

Skizze: Siehe 4.5

Schnittgrößen: $V_z = 170 \text{ kN}$

Ermittlung der Querschnittswerte des geschwächten Trägerprofils

Stegdicke	$t_s = 8,6 \text{ mm}$	Länge der Ausklinkung	$l_a = 110 \text{ mm}$
Breite des Trägers	$b_f = 180 \text{ mm}$	Höhe der Ausklinkung	$h_a = 360 \text{ mm}$
Gurtdicke	$t_g = 13,5 \text{ mm}$		

Schwerpunkt des geschwächten Querschnitt (gemessen von unten)

$$z_s = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{\sum A_i} = \frac{(34,65 \text{ cm} \cdot 0,86 \text{ cm} \cdot 18,625 \text{ cm} + 1,35 \text{ cm} \cdot 18 \text{ cm} \cdot 1,35 \text{ cm} / 2)}{(34,65 \text{ cm} \cdot 0,86 \text{ cm} + 1,35 \text{ cm} \cdot 18 \text{ cm})}$$

$$z_s = 10,6 \text{ cm}$$

Höhe der Fläche oberhalb des Schwerpunktes

$$z_o = \left(h_s + \frac{t_s}{2}\right) - z_s = \left(34,65 \text{ cm} + \frac{1,35 \text{ cm}}{2}\right) - 10,6 \text{ cm} = 24,75 \text{ cm}$$

Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung des ausgeklinkten Trägers

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} + A_i \cdot z_i^2 = \frac{(0,86 \cdot 34,65^3)}{12} + (18 \cdot 1,35) \cdot \left(10,6 - \frac{1,35}{2}\right)^2 = 5375,13 \text{ cm}^4$$

Statisches Moment des ausgeklinkten Trägers

$$\max S_y = \frac{t_s \cdot z_o^2}{2} = \frac{0,86 \cdot 24,75^2}{2} = 163,47 \text{ cm}^3$$

Nachweis des Grundwerkstoffs

Ermittlung der Schubspannung nach [(4) S.8.16]

$$\max \tau_l = \frac{V_z \cdot S_y}{I_y \cdot t_s} = \frac{170 \text{ kN} \cdot 263,4 \text{ cm}^3}{5375,13 \text{ cm}^4 \cdot 0,86 \text{ cm}} = 9,67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Grenzs Schubspannung

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{(\sqrt{3} \cdot \gamma_M)} = \frac{24 \text{ KN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 12,6 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis $\frac{\max \tau_{\parallel}}{\tau_{R,d}} = \frac{9,67 \text{ KN/cm}^2}{12,6 \text{ KN/cm}^2} = 0,76 < 1,0$

Nachweis erfüllt 76% Auslastung

Ermittlung der Normalspannung aus Momentenbelastung der Ausklinkung

$$M_a = V_{z,Ed} \cdot l_a = 170 \text{ KN} \cdot 11 \text{ cm} = 1870 \text{ KNcm}$$

$$\max \sigma_{\perp} = \frac{M_a}{I_y} \cdot z_o = \frac{1870 \text{ KNcm}}{5375,13 \text{ cm}^4} \cdot 24,75 \text{ cm} = 8,61 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Grenznormalspannung

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 21,8 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis $\frac{\max \sigma_{\perp}}{\sigma_{R,d}} = \frac{8,61 \text{ KN/cm}^2}{21,8 \text{ KN/cm}^2} = 0,39 < 1,0$

Nachweis erfüllt 39% Auslastung

Nachweis der Vergleichsspannung an der Stelle 1

$$\sigma_1 = \frac{M_a}{I_y} \cdot z_1 = \frac{1870 \text{ KNcm}}{5375,13 \text{ cm}^4} \cdot 9,25 \text{ cm} = 3,2 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\max \tau_{\parallel} = 9,67 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{(\sigma_1^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{(3,2^2 + 3 \cdot 9,67^2)} = 17,05 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 21,8 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis $\frac{\sigma_v}{\sigma_{R,d}} = \frac{17,05 \text{ KN/cm}^2}{21,8 \text{ KN/cm}^2} = 0,78 < 1,0$

Nachweis erfüllt 78% Auslastung

Der Nachweis des durch die Ausklinkung geschwächten Trägerprofils erfüllt.

Nachweis der Schraubenverbindung zwischen Winkel und Trägersteg

Überprüfung von Rand- und Lochabständen

$$e_1 : 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 22 = 26,4 < e_1 = 40 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 22 = 66; 6 \cdot t = 6 \cdot 8,6 = 51,6 \quad [\text{mm}]$$

$$e : 2,2 \cdot d_L = 2,2 \cdot 22 = 48,8 < e = 70 < 6 \cdot d_L = 6 \cdot 22 = 132; 12 \cdot t = 12 \cdot 8,6 = 103,2 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2 : 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 22 = 26,4 < e_2 = 50 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 21 = 63; 6 \cdot t = 6 \cdot 12 = 72 \quad [\text{mm}]$$

Ermittlung der Schraubenkräfte

$$\text{Grenzkriterium } \frac{h_1}{b_1} = \frac{22}{1} = 22 > 3,0$$

Die Überprüfung des Grenzkriteriums für die Ermittlung der Schraubenkräfte ist erfüllt.

Die Schraubenkräfte werden durch das f-Verfahren $f = 1,0$ berechnet.

$$M_1 = V_z \cdot e_1 = 170 \text{ KN} \cdot 6 \text{ cm} = 1020 \text{ KNcm}$$

$$V_z = 170 \text{ KN}$$

$$N_v = \frac{V_z}{n} = \frac{170 \text{ KN}}{3} = 56,67 \text{ KN} \quad N_{1x} = \frac{M_1}{h_1} \cdot f = \frac{1020 \text{ KN}}{14 \text{ cm}} = 72,9 \text{ KN}$$

$$N_R = \sqrt{(N_v^2 + N_{1x}^2)} = \sqrt{(56,67^2 + 72,9^2)} = 92,33 \text{ KN}$$

Grenzabscherkraft der Schrauben $m = 2$ (2 schnittige Verbindung)

$$m \cdot V_{a,R,d} = 2 \cdot 68,5 \text{ KN} = 137 \text{ KN} \quad \text{nach Tab.23}$$

Lochleibungskraft (nach Tab. 47 im Anhang)

Schraube 1 (nach Abb.46):

$$\text{in y-Richtung: } V_{y,1,R,d} = t_s \cdot V_{1,R,d} = 0,86 \cdot 131 \text{ KN} = 112,7 \text{ KN} \quad (e_1 = 70 \text{ mm})$$

$$\text{in x-Richtung: } V_{x,1,R,d} = t_s \cdot V_{1,R,d} = 0,86 \cdot 74,2 \text{ KN} = 63,8 \text{ KN} \quad (e_2 = 40 \text{ mm})$$

Schraube 2 (nach Abb.46):

$$\text{in y-Richtung: } V_{y,1,R,d} = t_s \cdot V_{1,R,d} = 0,86 \cdot 116 \text{ KN} = 99,8 \text{ KN} \quad (e = 70 \text{ mm})$$

Schraube 3 (nach Abb.46):

$$\text{in y-Richtung: } V_{y,1,R,d} = t_s \cdot V_{1,R,d} = 0,86 \cdot 116 \text{ KN} = 99,8 \text{ KN} \quad (e = 70 \text{ mm})$$

Nachweis der Schrauben

Nachweis der Grenzabscherkraft $\frac{N_R}{(n \cdot V_{a,R,d})} = \frac{92,33 \text{ KN}}{137 \text{ KN}} = 0,67 < 1,0$

Nachweis der Grenzlochleibkraft in y – Richtung :

$$\frac{V_{z,s}}{\sum V_{y,l,R,d}} = \frac{170 \text{ KN}}{(112,7 \text{ KN} + 99,8 \text{ KN} + 99,8 \text{ KN})} = 0,55 < 1,0$$

Nachweis der Grenzlochleibkraft in x- Richtung (maßgebende Schraube 1):

$$\frac{N_{1x}}{V_{x,l,R,d}} = \frac{72,9 \text{ KN}}{63,8 \text{ KN}} = 1,14 > 1,0$$

Nachweis nicht erfüllt 14 % Überlastung.

Nachweis der Kontaktpressung am Winkelprofil

Ermittlung der Kontaktfläche

$$\alpha = 60^\circ ; b_D = 1,58 \cdot t + 0,423 \cdot r - \Delta l = 1,58 \cdot 1,2 \text{ cm} + 0,423 \cdot 1,2 \text{ cm} - 1 \text{ cm} = 1,09 \text{ cm}$$

Höhe $h_D = 2 \text{ cm}$; Die Höhe wird geschätzt

$$A_D = h_D \cdot b_D = 2 \text{ cm} \cdot 1,09 \text{ cm} = 2,18 \text{ cm}^2$$

Ermittlung der Belastung

$$M_x = \frac{V_{z,Ed} \cdot e_A}{2} = \frac{170 \text{ KN} \cdot 6 \text{ cm}}{2} = 510 \text{ KNcm}$$

$$I_p = \sum z_i^2 = 3^2 + 10^2 + 17^2 = 398 \text{ cm}^2$$

$$N = \frac{M_x}{I_p} \cdot z_i = \frac{510 \text{ KNcm}}{398 \text{ cm}^2} \cdot (3 \text{ cm} + 10 \text{ cm} + 17 \text{ cm}) = 38,44 \text{ KN}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{N}{A_D} = \frac{38,44 \text{ KN}}{2,18 \text{ cm}^2} = 17,63 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 21,8 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis $\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{R,d}} = \frac{17,63 \text{ KN/cm}^2}{21,8 \text{ KN/cm}^2} = 0,81 < 1,0$

Nachweis erfüllt 81 % Auslastung

Nachweis der Schraubenverbindung Winkel-Anschlussfläche (IPE 500)

Nachweis nach (14) S.157

$$M_x = \frac{V_{z,Ed} \cdot e_A}{2} = \frac{170 \text{ KN} \cdot 6 \text{ cm}}{2} = 510 \text{ KNcm}$$

$$I_p = \sum z_i^2 = 3^2 + 10^2 + 17^2 = 398 \text{ cm}^2$$

$$V_{az} = \frac{V_z/2}{n} = \frac{170 \text{ KN}/2}{3} = 28,3 \text{ KN}$$

n-Anzahl der im Winkelschenkel vorhandenen Schrauben

$$V_{ay} = \frac{M_x \cdot z_l}{I_p} = \frac{510 \text{ KNcm} \cdot 17 \text{ cm}}{398 \text{ cm}^2} = 21,8 \text{ KN}$$

$$\max V_a = \sqrt{(V_{az}^2 + V_{ay}^2)} = 35,78 \text{ KN}$$

Die Grenzscherkraft wird maßgebend für die Verbindung Winkel mit der Anschlussfläche: (m=1 einschnittige Verbindung)

$$m \cdot V_{a,R,d} = 1 \cdot 68,5 \text{ KN} = 68,5 \text{ KN}$$

Nachweis $\frac{\max V_a}{(m \cdot V_{a,R,d})} = \frac{35,75 \text{ KN}}{68,5 \text{ KN}} = 0,52 < 1,0$

Nachweis erfüllt Auslastung 52 %

Nachweis der Anschlusswinkel

Beanspruchung pro Winkelprofil: $\frac{M_l}{2} = 510 \text{ KNcm}$; $\frac{V_{z,Ed}}{2} = 85 \text{ KN}$

Grenzkriterium: $\frac{A_{\text{Brutto}}}{A_{\text{Netto}}} = \frac{26,4}{22,44} = 1,176 \leq 1,2$

$$A_{\text{Brutto}} = 22 \text{ cm} \cdot 1,2 \text{ cm} = 26,4 \text{ cm}$$

$$A_{\text{Netto}} = 22 \text{ cm} \cdot 1,2 \text{ cm} - 1,5 \text{ cm} \cdot 2,2 \text{ cm} \cdot 1,2 \text{ cm} = 22,44 \text{ cm}^2$$

Das Grenzkriterium ist erfüllt .Der Lochabzug muss nach DIN 18800 nicht berücksichtigt werden.

Widerstandsmoment des Winkelschenkel

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{1,2 \text{ cm} \cdot (22 \text{ cm})^2}{6} = 96,8 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{M_1/2}{W_y} = \frac{510 \text{ KNcm}}{96,8 \text{ cm}^3} = 5,26 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 21,8 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis $\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{R,d}} = \frac{5,26 \text{ KN/cm}^2}{21,8 \text{ KN/cm}^2} = 0,23 < 1,0$

Nachweis erfüllt 23 % Auslastung

Nachweis der Schubspannung

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_z}{A} = \frac{85 \text{ KN}}{22 \text{ cm} \cdot 1,2 \text{ cm}} = 3,1 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{(\sqrt{3} \cdot \gamma_M)} = \frac{24 \text{ KN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 12,6 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis $\frac{\tau_{\parallel}}{\tau_{R,d}} = \frac{3,1 \text{ KN/cm}^2}{12,6 \text{ KN/cm}^2} = 0,24 < 1,0$ **Nachweis erfüllt 24 % Auslastung**

Die Auslastung der Spannungsnachweise $< 0,5$ der zulässigen Spannungen, es muss kein Vergleichsspannungsnachweis geführt werden.

Auswertung

Auslastungen der Einzelnachweise

Nachweis		DIN EN 1993	DIN 18800
Grundwerkstoff des ausgeklinkten Trägerprofils	Schubspannung	71,00%	76,00%
	Normalspannung	36,00%	39,00%
	Vergleichsspannung	73,00%	78,00%
Schraubverbindung Winkel-Trägersteg	Abscherung	77,00%	67,00%
	Lochleibung in y	52,00%	55,00%
	Lochleibung in x	97,00%	114,00%
Schraubverbindung Winkel-A.fläche		59,00%	52,00%
Kontaktpressung		73,00%	81,00%
Grundwerkstoff der Winkel	Biegung	19,00%	23,00%
	Querkraft	23,00%	24,00%

Tab.31c Auslastungen der Einzelnachweise des Doppelwinkelanschlusses

Die Vergleichsberechnung der Beispielaufgabe eines Doppelwinkelanschlusses für eine Träger-Träger-Verbindung mit bündigen Oberkanten, weist im Normenvergleich für alle geführte Einzelnachweise Abweichungen in den Auslastungen auf. Tab.31c stellt alle prozentualen Ergebnisse der Auslastungen die ermittelt wurden gegenüber. Der Nachweis des Grundwerkstoffes des ausgeklinkten Trägerprofils, der sowohl nach DIN EN 1993, als auch nach DIN 18800 mit dem in den Normen angebotenen Berechnungsverfahren elastisch-elastisch geführt wurde, zeigt nur geringe Abweichungen. Die Abweichungen sind, da die Spannungsermittlung der Beanspruchung identisch ist, auf die unterschiedlichen Teilsicherheitsbeiwerte und Streckgrenzen der Werkstoffe, die sich bei der Berechnung der Beanspruchbarkeiten normenspezifisch ändern, zurückzuführen. Für den Nachweis des Doppelwinkelanschlusses sind eine Vielzahl an Schraubennachweisen zu führen, bei denen sowohl Grenzabscherkraft, als auch Grenzlochleibungskraft maßgebend werden. Als maßgebender Nachweis für den im Normenvergleich berechneten Doppelwinkelanschluss erweist sich der Nachweis der Grenzlochleibungskraft der Schraubenverbindung Winkel-Anschlussfläche. Es sind verhältnismäßig große Abweichungen in den Auslastungen vorhanden. Der Anschluss kann nach DIN EN 1993 als tragfähig nachgewiesen werden, nach DIN 18800 ist die Schraubenverbindung rund 14 % Prozent überlastet.

4.7 Knaggenanschluss nach DIN EN 1993

Erläuterung:

Der nachzuweisende Knaggenanschluss ist eine Träger-Stützen-Verbindung eines IPE 500 Trägerprofils an eine HEB 450 Stütze. Für die Auflagerknagge wird ein Blech der Stärke 40mm an der Stütze angeschweißt. Die Lagersicherung wird durch eine Stirnplattenverbindung mit 2 Schrauben M20 4.6 realisiert, die im Nachweis jedoch nicht weiter betrachtet wird. Der Anschluss wird ohne eingeschweißte Rippen zur Aussteifung des Trägersteges ausgeführt.

Trägerprofile: IPE 500 an HEA 450

Auflagerknagge: BL 40 mm × 100 mm × 200 mm

Schweißnähte: a = 6,5 mm

Skizze

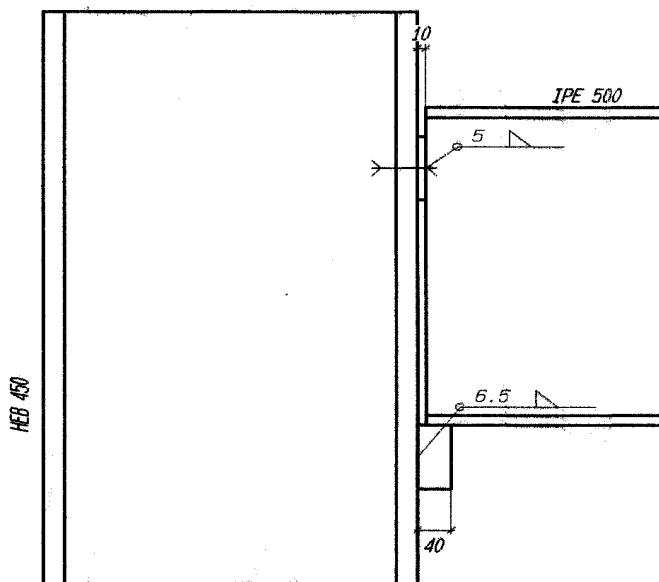


Abb. 50 Knaggenanschluss Seitenansicht

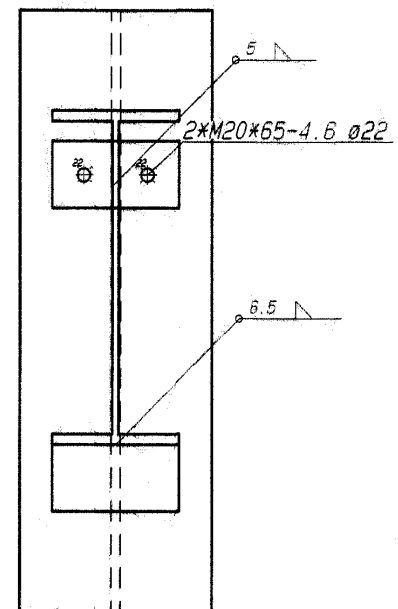


Abb. 51 Knaggenanschluss

Schnittgrößen: $V_{Ed} = 180 \text{ kN}$

<u>Querschnittswerte:</u>	HEB 450	Stegdicke	$t_w = 14 \text{ mm}$
		Gurtdicke	$t_f = 26 \text{ mm}$
	IPE 500	Stegdicke	$t_w = 10,2 \text{ mm}$
		Gurtdicke	$t_f = 16 \text{ mm}$
			$r = 21 \text{ mm}$

Nachweis der Lasteinleitung in den Trägersteg

Beanspruchbarkeit des Steges $F_{R,d} = \frac{f_{yw} \cdot L_{eff} \cdot t_w}{\gamma_{M1}}$

Ermittlung der effektiven Lastausbreitungslänge:

$$L_{eff} = l_y = \min - l_y = l_e + t_f \cdot \sqrt{(m_1/2) + (l_e/t_f)^2 + m_2}$$

$$- l_y = l_e + t_f \cdot \sqrt{m_1 + m_2}$$

$$l_e = \frac{k_F \cdot E \cdot t_w^2}{2 \cdot f_{yw} \cdot h_w} = \frac{2,42 \cdot 21000 \text{ KN/cm}^2 \cdot 1,02^2 \text{ cm}}{2 \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2 \cdot 42,6 \text{ cm}} = 26,4$$

$$26,4 \text{ cm} \leq s_s + c = 3,0 \text{ cm} + 0 = 3,0 \text{ cm}$$

$$k_F = 2 + 6 \cdot \left(\frac{s_s + c}{h_w} \right) = 2 + 6 \cdot \left(\frac{30 \text{ mm}}{426 \text{ mm}} \right) = 2,42$$

$$m_1 = \frac{f_{yf} \cdot b_f}{f_{yw} \cdot t_w} = \frac{23,5 \text{ KN/cm}^2 \cdot 20 \text{ cm}}{23,5 \text{ KN/cm}^2 \cdot 1,02 \text{ cm}} = 19,6$$

$$m_2 = 0$$

$$l_y = l_e + t_f \cdot \sqrt{m_1 + m_2} = 3,0 \text{ cm} + 1,6 \text{ cm} \cdot \sqrt{19,6 + 0} = 10,08 \text{ cm}$$

$$l_y = l_e + t_f \cdot \sqrt{(m_1/2) + (l_e/t_f)^2 + m_2} = 3,0 \text{ cm} + 1,6 \text{ cm} \cdot \sqrt{(19,6/2) + (2,0 \text{ cm}/1,6 \text{ cm})^2 + 0} = 8,39 \text{ cm}$$

$$L_{eff} = 8,39 \text{ cm}$$

Aufnehmbare Querkraft des unausgesteiften Trägersteges:

$$F_{R,d} = \frac{f_{yw} \cdot L_{eff} \cdot t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{23,5 \text{ KN/cm}^2 \cdot 8,39 \text{ cm} \cdot 1,02 \text{ cm}}{1,1} = 182,83 \text{ KN}$$

Nachweis $\frac{V_{z,Ed}}{F_{Rd}} = \frac{180 \text{ KN}}{182,83 \text{ KN}} = 0,98 < 1,0$

Nachweis erfüllt 98 % Auslastung

Nachweis der Kontaktpressung

Länge des starren Lasteinleitung (Lastausbreitungswinkel 45°) nach [(7) S. 133]

$$s_{s1} = t_w + 1,17 \cdot r + 2 \cdot t_f = 1,02 \text{ cm} + 1,17 \cdot 2,1 \text{ cm} + 2 \cdot 1,6 \text{ cm} = 6,68 \text{ cm}$$

$$A = s_{s1} \cdot s_s = 6,68 \text{ cm} \cdot 3,0 \text{ cm} = 20,04 \text{ cm}^2$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20,04 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2}{1,0} = 471 \text{ KN}$$

Nachweis $N_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$ in diesem Fall $N_{Ed} = V_{Ed}$

$$N_{Ed} = 180 \text{ KN} \leq N_{pl,Rd} = 471 \text{ KN}$$

Nachweis erfüllt 38% Auslastung

Nachweis der Schweißverbindung

Exzentrizitätsmoment $e_1 = \frac{s_s}{2} + \Delta l = \frac{3,0 \text{ cm}}{2} + 1,0 \text{ cm} = 2,5 \text{ cm}$

$$M_1 = V_z \cdot e_1 = 180 \text{ KN} \cdot 2,5 \text{ cm} = 450 \text{ KNcm}$$

Querkraft $V_{z,Ed} = 180 \text{ KN}$

Überprüfung der Schweißnahtgeometrie

$$t = 26 \text{ mm} > \min t = 4 \text{ mm}$$

$$a_w = 6,5 \text{ mm} > \min a_w = 3 \text{ mm}$$

$$l_{eff} = 100 \text{ mm} > 6 \cdot a = 6 \cdot 6,5 \text{ mm} = 39 \text{ mm}$$

$$< 150 \cdot a = 150 \cdot 6,5 \text{ mm} = 975 \text{ mm}$$

Nachweis nach dem richtungsbezogenen Verfahren

Flächenträgheitsmoment der Schweißnaht

$$I_w = \frac{2 \cdot a \cdot h_k^3}{12} + 2 \cdot (a \cdot b_k) \cdot \left(\frac{h_k}{2} + \frac{a}{2} \right)^2$$

$$I_w = \frac{2 \cdot 0,65 \text{ cm} \cdot 10^3 \text{ cm}}{12} + 2 \cdot (0,65 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm}) \cdot \left(\frac{10 \text{ cm}}{2} + \frac{0,65 \text{ cm}}{2} \right)^2$$

$$I_w = 845,6 \text{ cm}^4$$

$$A_w = \sum a \cdot l_{\text{eff}} = 2 \cdot 0,65 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm}$$

$$A_w = 13 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\parallel, \text{Ed}} = \frac{V_{\text{Ed}}}{A_w} = \frac{180 \text{ KN}}{13 \text{ cm}^2} = 13,8 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36 \text{ KN/cm}^2}{0,8 \cdot 1,25} = 36 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{M_1}{I_w} \cdot \left(\frac{h_k}{2} \right) \cdot \sin(45^\circ) = \frac{450 \text{ KN/cm}^2}{845,6 \text{ cm}^4} \cdot \left(\frac{10 \text{ cm}}{2} \right) \cdot 0,707 = 1,9 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis $\sigma_{\perp} = 1,9 \text{ KN/cm}^2 \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 36 \text{ KN/cm}^2}{1,25} = 25,9 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{(1,9^2 + 3 \cdot (1,9^2 + 13,8^2))} = 24,2 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 24,2 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 36 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis erfüllt 67 % Auslastung

4.8 Knaggenanschluss nach DIN 18800

Trägerprofile: IPE 500 an HEA 450

Auflagerknagge: BL 40 mm × 100 mm × 200 mm

Schweißnähte: a = 6,5 mm Nahtgüte nicht nachgewiesen

Skizze: Siehe 4.7

Schnittgrößen: $V_z = 180 \text{ KN}$

<u>Querschnittswerte:</u>	HEB 450	Stegdicke	$t_s = 14 \text{ mm}$
		Gurtdicke	$t_g = 26 \text{ mm}$
	IPE 500	Stegdicke	$t_s = 10,2 \text{ mm}$
		Gurtdicke	$t_g = 16 \text{ mm}$
			$r = 21 \text{ mm}$

Nachweis der Lasteinleitung in die Trägerenden

Überprüfung des Grenzkriterium

$$h_i = h - 2 \cdot (t_g + r) = 500 \text{ mm} - 2 \cdot (16 \text{ mm} + 21 \text{ mm}) = 426 \text{ mm}$$

$$\frac{h_i}{s} = \frac{426 \text{ mm}}{10,2 \text{ mm}} = 41,76 \leq 60$$

Ermittlung der Grenzkraft

mittragende Länge

$$c = d_K - \Delta l = 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$

$$l = c + 2,5 \cdot (t + r) = 30 \text{ mm} + 2,5 \cdot (16 \text{ mm} + 21 \text{ mm}) = 122,5 \text{ mm}$$

$$\text{Grenzkraft} \quad F_{R,d} = \frac{t_s \cdot l \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{1,02 \text{ cm} \cdot 12,25 \text{ cm} \cdot 24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 272,4 \text{ KN}$$

$$\text{Nachweis} \quad \frac{V_z}{F_{R,d}} = \frac{180 \text{ KN}}{272,4 \text{ KN}} = 0,66 \leq 1,0$$

Der Nachweis der Lasteinleitung in den unausgesteiften Trägersteg ist erfüllt. Die Auslastung beträgt 66%.

Nachweis der Kontaktpressung

Länge der starren Lastausbreitung

$$b_l = t_s + 1,61 \cdot r + 5 \cdot t_g = 1,02 \text{ cm} + 1,61 \cdot 2,1 \text{ cm} + 5 \cdot 1,6 \text{ cm} = 12,4 \text{ cm}$$

$$\sigma_{\perp D} = \frac{V_z}{c \cdot b_l} = \frac{180 \text{ KN}}{3,0 \text{ cm} \cdot 12,4 \text{ cm}} = 4,83 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{R,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 21,81 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Nachweis } \frac{\sigma_{\perp D}}{\sigma_{R,d}} = \frac{4,83 \text{ KN/cm}^2}{21,81 \text{ KN/cm}^2} = 0,22 \leq 1,0$$

Nachweis erfüllt 22 % Auslastung

Nachweis der Schweißverbindung

$$\text{Exzentrizitätsmoment } e_1 = \frac{c}{2} + \Delta l = \frac{3,0 \text{ cm}}{2} + 1,0 \text{ cm} = 2,5 \text{ cm}$$

$$M_1 = V_z \cdot e_1 = 180 \text{ KN} \cdot 2,5 \text{ cm} = 450 \text{ KNcm}$$

$$\text{Querkraft } V_z = 180 \text{ KN}$$

Überprüfung der Schweißnahtgeometrie

$$t = 26 \text{ mm} \geq 3 \text{ mm}$$

$$2 \text{ mm} \leq a = 6,5 \text{ mm} \leq 0,7 \cdot \min t = 0,7 \cdot 26 \text{ mm} = 14,7 \text{ mm}$$

$$a = 6,5 \text{ mm} \geq \sqrt{\max t} - 0,5 = \sqrt{40} - 0,5 = 6,28 \text{ mm}$$

$$\text{für } t = 40 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \text{ gilt } a = 6,5 \text{ mm} \geq 5,0 \text{ mm}$$

$$l = 100 \text{ mm} > 6 \cdot a = 6 \cdot 6,5 \text{ mm} = 39 \text{ mm}$$

$$> 30 \text{ mm}$$

$$< 150 \cdot a = 150 \cdot 6,5 \text{ mm} = 975 \text{ mm}$$

$$\text{Ermittlung der Spannungen: } \tau_{\parallel} = \frac{V_z}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{180 \text{ KN}}{2 \cdot 0,65 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm}} = 13,8 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Grenzschweißnahtspannung: } \sigma_{w,R,d} = \frac{\alpha_w \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{0,95 \cdot 24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 20,72 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Nachweis} \quad \frac{\tau_{\perp}}{\sigma_{w,R,d}} = \frac{13,8 \text{ KN/cm}^2}{20,72 \text{ KN/cm}^2} = 0,66 < 1,0$$

Nachweis erfüllt 66% Auslastung

Flächenträgheitsmoment der Schweißnaht

$$I_w = \frac{2 \cdot a \cdot h_k^3}{12} + 2 \cdot (a \cdot b_k) \cdot \left(\frac{h_k}{2} + \frac{a}{2} \right)^2$$

$$I_w = \frac{2 \cdot 0,65 \text{ cm} \cdot 10^3 \text{ cm}}{12} + 2 \cdot (0,65 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm}) \cdot \left(\frac{10 \text{ cm}}{2} + \frac{0,65 \text{ cm}}{2} \right)^2$$

$$I_w = 845,6 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{M_l}{I_w} \cdot \left(\frac{h_k}{2} \right) = \frac{450 \text{ KN/cm}^2}{845,6 \text{ cm}^4} \cdot \left(\frac{10 \text{ cm}}{2} \right) = 2,67 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Nachweis} \quad \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{w,R,d}} = \frac{2,67 \text{ KN/cm}^2}{20,72 \text{ KN/cm}^2} = 0,13 < 1,0$$

Nachweis erfüllt 13% Auslastung

$$\text{Vergleichsspannung} \quad \sigma_{w,v} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2} = \sqrt{2,67^2 + 13,8^2} = 14 \text{ KN/cm}^2$$

$$\text{Nachweis} \quad \frac{\sigma_{w,v}}{\sigma_{w,R,d}} = \frac{14 \text{ KN/cm}^2}{20,72 \text{ KN/cm}^2} = 0,67 \leq 1,0$$

Nachweis erfüllt 67 % Auslastung

Auswertung

Nachweis	DIN EN 1993	DIN 18800
Lasteinleitung-Trägersteg	98,00%	66,00%
Kontaktpressung	38,00%	22,00%
Schweißverbindung	67,00%	66,00%

Tab.31d Auslastungen der Einzelnachweise des Knaggenanschlusses

Die Berechnung des Knaggenanschlusses im Normenvergleich zeigt Unterschiede in den einleitbaren Lasten, sowohl in den unausgesteiften Trägersteg als auch für die Kontaktpressung auf der Auflagerknagge. Die Nachweise für die Lasteinleitungen zeigen große Unterschiede. Der Nachweis nach DIN 18800 ist zu 66% ausgelastet, wobei nach DIN EN 1993 eine Auslastung von 98% ermittelt wurde. Diese Unterschiede sind auf die Nachweisführung zurückzuführen. Obwohl beide Normen eine Grenzkraft ermitteln, sind

die Verfahren zur Bestimmung unterschiedlich. DIN 18800 bestimmt eine auf dem Verhältniss der Lastausbreitung basierenden mittragenden Länge des Trägersteges eine aufnehmbare Last. DIN EN 1993 ermittelt eine Beanspruchbarkeit des Trägesteges mit einem vereinfachten Stabilitätsnachweis $\gamma_{M1}=1,1$. Die Kontaktpressung der Trägergurte auf der Auflagerknagge zeigen ebenfalls sehr unterschiedliche Auslastungen. Nach DIN 18800 wird eine Auslastung von 22% nach DIN EN 1993 eine Auslastung von 40%. Die Unterschiede basieren auf den angenommen Lastausbreitungsverhältnisse der Normen. DIN 18800 gibt für den Fall der Lastausbreitung in Trägerenden nach Element 744 ein Verhältniss von 1:2,5 an. DIN EN 1993 gibt nach [(17) Abschnitt 6.3.3] einen Winkel der starren Lasteinleitung von 45° an, der einem Verhältniss der Lastausbreitung von 1:1 entspricht. Der Nachweis der Kontaktpressung kommt somit nach DIN 18800 zu besseren Ergebnissen für die Berechnung nach DIN 18800. Der Nachweis der Schweißverbindung auf Querkraft und Biegemoment weist gleiche Auslastungen im Normenvergleich auf.

5. Beispielberechnung biegesteifer Anschlüsse

5.1 Biegesteife Laschenverbindung nach DIN EN 1993

Erläuterung:

Der Nachweis biegesteifer Verbindungen wird für einen biegesteifen Laschenstoß im Normenvergleich gezeigt. Zwei Trägerprofile IPE 500 (S 235) werden durch aufgesetzte Laschen, die einseitig auf den Trägergurten und beidseitig auf dem Trägersteg angebracht werden, verbunden. Der Nachweis wird nach DIN 18800 für das Nachweisverfahren elastisch-elastisch und nach DIN EN 1993 für das Verfahren elastisch-plastisch nachgewiesen. Als Verbindungsmittel kommen hochfeste Schrauben M20 10.9 zur Anwendung wobei das Lochspiel zur Reduzierung des Schlupfs der Verbindung auf $\Delta d = 1\text{ mm}$ begrenzt wird.

Skizze

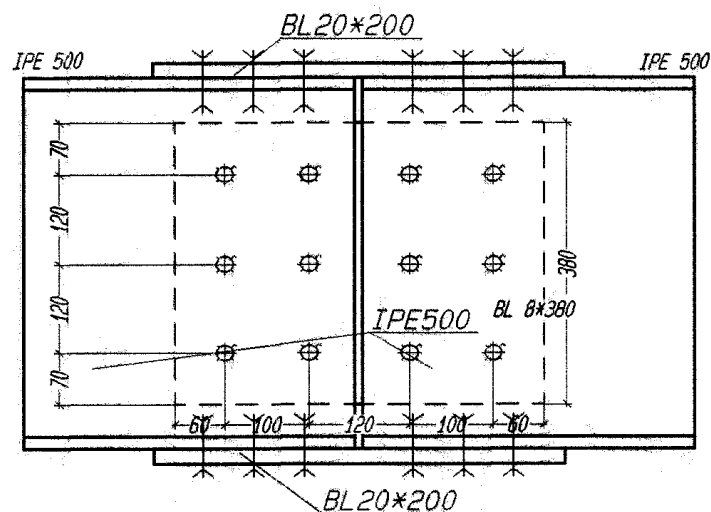


Abb. 52 Laschenstoß

Trägerprofil: IPE 500

Gurtlasche : Bl 490mm × 200mm × 20mm einseitig

Steglasche : Bl 440mm × 380mm × 8mm beidseitig

Werkstoff : S 235

Schrauben : M 20 / 10.9 $d_0 = 21\text{ mm}$

Schnittgrößen : $M_y = 400\text{ KNm}$ $V_{z,Ed} = 160\text{ KN}$ $N = 0$

Querschnittswerte DIN 1025 T5 IPE 500:

$$\begin{aligned} h &= 500 \text{ mm} & b &= 200 \text{ mm} & A &= 115,5 \text{ cm}^2 \\ t_s &= 10,2 \text{ mm} & t_g &= 16 \text{ mm} & I_y &= 48199 \text{ cm}^4 \\ I_{ysteg} &= \frac{t_w \cdot h_{steg}^3}{12} = \frac{1,02 \text{ cm} \cdot 42,6^3 \text{ cm}}{12} = 6571 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Aufteilung der Schnittgrößen:

$$\begin{aligned} M_y &= 400 \text{ KNm} & V_{z,Ed} &= 160 \text{ KN} \\ M_{ySteg} &= \frac{M_y \cdot I_{ySteg}}{I_y} = \frac{400 \text{ KNm} \cdot 6571 \text{ cm}^4}{48199 \text{ cm}^4} = 54,53 \text{ KNm} \\ V_{Steg} &= V_{z,Ed} = 160 \text{ KN} \\ M_{y,Gurt} &= M_y - M_{steg} = 400 \text{ KNm} - 54,53 \text{ KNm} = 345,47 \text{ KNm} \\ N_{o,Gurt} &= \frac{-M_{y,Gurt}}{h_{Gurt}} = \frac{-34547 \text{ KNcm}}{(50 \text{ cm} - 1,6 \text{ cm})} = -713,8 \text{ KN} & & \text{(Druckbeanspruchung)} \\ N_{u,Gurt} &= \frac{M_{y,Gurt}}{h_{Gurt}} = \frac{34547 \text{ KNcm}}{(50 \text{ cm} - 1,6 \text{ cm})} = 713,8 \text{ KN} & & \text{(Zugbeanspruchung)} \end{aligned}$$

Nachweis des Trägerprofils

Klassifizierung des biegebeanspruchten Querschnitts

$$\begin{aligned} \text{Querschnittsklasse IPE 500 : Steg} \quad \text{vorh} \quad \frac{c}{t} &= \frac{42,6}{1,02} = 41,8 \leq 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 1,0 = 72 \\ \text{Gurt} \quad \text{vorh} \quad \frac{c}{t} &= \frac{7,85}{1,6} = 4,9 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9,0 \end{aligned}$$

Der Querschnitt ist sowohl für den druckbeanspruchten Gurt als auch für den Steg in die Querschnittsklasse 1 einzuteilen. Eine Berechnung mit dem Ansatz plastischer Tragreserven ist nach DIN EN 1993 möglich

Überprüfung der Grenzbedingung für die Lochschwächung der zugbeanspruchten Querschnittsteile:

$$\text{Grenzbedingung:} \quad \frac{A_{f,net} \cdot 0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_f \cdot f_y}{\gamma_{M0}} ;$$

$$A_{f,net} = \left(\frac{A}{2} - 2 \cdot d_0 \cdot t_w - 2 \cdot d_0 \cdot t_f \right) = \left(\frac{115,5 \text{ cm}^2}{2} - 2 \cdot 2,1 \cdot 1,02 - 2 \cdot 2,1 \cdot 1,6 \right) = 46,75 \text{ cm}^2$$

$$A_f = \frac{A}{2} = \frac{115,5 \text{ cm}^2}{2} = 57,75 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{f,net} \cdot 0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{46,75 \text{ cm}^2 \cdot 0,9 \cdot 36 \text{ KN/cm}^2}{1,25} = 1211,76$$

$$\frac{A_f \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{57,75 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2}{1,0} = 1357,16 \text{ cm}^2$$

Nachweis: $1211,76 \text{ cm}^2 \leq 1357,16 \text{ cm}^2$, der Lochabzug muss berücksichtigt werden.

Nachweis der Biegebeanspruchung: $\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$

Eine Reduzierung vom plastischen Widerstandmoment durch die Lochschwächung des Trägerprofils in der Zugzone ist zu berücksichtigen. Die Reduzierung erfolgt nach [(7) S. 191, 6.6.1] vereinfacht für Löcher im Zug als auch Druckbereich.

$$\begin{aligned} W_{pl,r} &= 2194 \text{ cm}^3 - 4 \cdot 24,2 \text{ cm} \cdot 1,6 \text{ cm} \cdot 2,1 \text{ cm} \\ &\quad - 2 \cdot 5 \text{ cm} \cdot 1,02 \text{ cm} \cdot 2,1 \text{ cm} \\ &\quad - 2 \cdot 15 \text{ cm} \cdot 1,02 \text{ cm} \cdot 2,1 \text{ cm} = 1783 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1783 \text{ cm}^3 \cdot 23,5 \text{ cm}^2}{1,0} = 419 \text{ KNm}$$

Nachweis $\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{400 \text{ KNm}}{419 \text{ KNm}} = 0,95 \leq 1,0$

Nachweis erfüllt Auslastung 95%

Nachweis der Schubspannung im Steg $\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \leq t_w \cdot h_w = 1,02 \text{ cm} \cdot 42,6 \text{ cm} = 43,45 \text{ cm}^2$$

$$A_v = 116 \text{ cm}^2 - 2 \cdot 20 \text{ cm} \cdot 1,6 \text{ cm} + (1,02 \text{ cm} + 2 \cdot 2,1 \text{ cm}) \cdot 1,6 \text{ cm} = 58,85 \text{ cm}^2 \geq 43,45 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{58,85 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 798,5 \text{ KN}$$

Nachweis $\frac{V_{z,Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{160 \text{ KN}}{789,5 \text{ KN}} = 0,2 \leq 1,0$

Der Interaktionsnachweis muss nicht geführt werden $V_{z,Ed} \leq 0,5 \cdot V_{c,Rd}$. Der Nachweis des Grundwerkstoffs ist erfüllt.

Nachweis der Zuglasche $\frac{N_{u,Gurt}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$

Querschnittswerte der Zuglasche

$$A = b \cdot t_{bl} = 20 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} = 40 \text{ cm}^2$$

$$A_{net} = b \cdot t_{bl} - (2 \cdot d_0 \cdot t_{bl}) = 40 \text{ cm}^2 - (2 \cdot 2,1 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm}) = 31,2 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} = \min \begin{aligned} & - N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{40 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2}{1,0} = 940 \text{ KN} \\ & - N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 31,2 \text{ cm}^2 \cdot 36 \text{ KN/cm}^2}{1,25} = 808 \text{ KN} \end{aligned}$$

Nachweis $\frac{N_{u,Gurt}}{N_{t,Rd}} = \frac{713,8 \text{ KN}}{808 \text{ KN}} = 0,88 \leq 1,0$

Nachweis erfüllt 88 % Auslastung

Nachweis der Drucklasche $\frac{N_{u,Gurt}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{40 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ KN/cm}^2}{1,0} = 940 \text{ KN}$$

Nachweis $\frac{N_{0,Gurt}}{N_{c,Rd}} = \frac{713,8 \text{ KN}}{940 \text{ KN}} = 0,76 \leq 1,0$

Nachweis erfüllt 76 % Auslastung

Nachweis der Schraubenverbindungen

Nachweis der Schrauben in den Gurtlaschen

Die Gurtlaschen sind mittig beansprucht. Die Belastungen werden zu gleichen Teilen auf die Schrauben verteilt. $n=6$ –Anzahl der Schrauben. $N_{Ed}=713,8 \text{ KN}$

$$F_{v,Rd} = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{713,8 \text{ KN}}{6} = 119 \text{ KN}$$

Skizze:

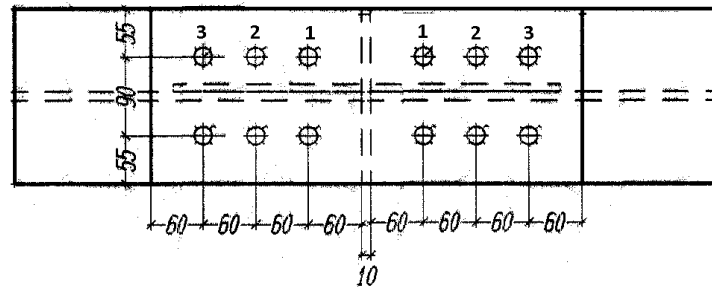


Abb. 53 Maße Schraubenabstände der Gurtlaschen

Überprüfung der Lochabstände

$$e_1 : 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_1 = 60 < 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 16 + 40 = 264 \quad [\text{mm}]$$

$$p_1 : 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 21 = 46,2 < p_1 = 60 < 14 \cdot t = 14 \cdot 16 = 224 ; 200 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2 : 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_2 = 55 < 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 16 + 40 = 264 \quad [\text{mm}]$$

$$p_2 : 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 21 = 50,4 < p_2 = 90 < 14 \cdot t = 14 \cdot 16 = 224 ; 200 \quad [\text{mm}]$$

Ermittlung der Grenzabscherkraft

$$f_{u,b} = 100 \text{ KN/cm}^2, \quad \alpha_v = 0,6 \quad A = 3,14 \text{ cm}^2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{a_v \cdot A \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 100 \text{ KN/cm}^2 \cdot 3,14 \text{ cm}^2}{1,25} = 151 \text{ KN}$$

Ermittlung der Grenzlochleibungskraft

$$f_u = 23,5 \text{ KN/cm}^2 \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

Schraubenreihe 1:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot t \cdot d \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

am Rand liegende Schraube:

$$\begin{aligned}\alpha_b &= \min - \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{60}{3 \cdot 21} = 0,95 \\ &- \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{1000}{36} = 2,78 \\ &- 1,0 \\ k_1 &= \min - \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7 = \frac{2,8 \cdot 55}{21} - 1,7 = 5,6 \\ &- \frac{1,4 \cdot p_2}{d_0} - 1,7 = \frac{1,4 \cdot 90}{21} - 1,7 = 4,3 \\ &- 2,5\end{aligned}$$

innen liegende Schraube: $\alpha_b = \min - \left(\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \right) \left(\frac{60}{3 \cdot 21} - \frac{1}{4} \right) = 0,7$

$$\begin{aligned}&- \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{1000}{36} = 2,78 \\ &- 1,0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k_1 &= \min - \frac{1,4 \cdot p_2}{d_0} - 1,7 = 4,3 \\ &- 2,5\end{aligned}$$

Grenzlochleibungskraft Schraube 1 in der Gurtlasche (Abb.53): $t=20\text{mm}$

$$F_{b,1,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot t \cdot d \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,95 \cdot 36 \text{ KN/cm}^2 \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm}}{1,25} = 273 \text{ KN}$$

Grenzlochleibungskraft Schraube 2 im Grundwerkstoff (Abb.53): $t=16\text{mm}$

$$F_{b,1,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot t \cdot d \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,7 \cdot 36 \text{ KN/cm}^2 \cdot 1,6 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm}}{1,25} = 161 \text{ KN}$$

Grenzlochleibungskraft Schraube 2 in der Gurtlasche (Abb.53):

$$t=20 \text{ mm} ; \alpha_b=0,7 ; k_1=2,5$$

$$F_{b,2,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot t \cdot d \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,7 \cdot 36 \text{ KN/cm}^2 \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm}}{1,25} = 201 \text{ KN}$$

Grenzlochleibungskraft Schraube 2 im Grundwerkstoff $F_{b,2,Rd} = 161 \text{ KN}$

Grenzlochleibungskraft der Schraube 3 im Grundwerkstoff $F_{b,3,Rd} = 201 \text{ KN}$

Grenzlochleibungskraft der Schraube 3 in der Gurtlasche (Abb.53)

$$t = 20 \text{ mm} ; \alpha_b = 0,95 \quad k_1 = 2,5$$

$$F_{b,3,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot t \cdot d \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,95 \cdot 36 \text{ KN/cm}^2 \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm}}{1,25} = 218 \text{ KN}$$

Die Grenzabscherkraft erweist sich als maßgebend.

$$\text{Nachweis} \quad \frac{F_{v,Rd}}{F_{Rd}} = \frac{119 \text{ KN}}{150,8 \text{ KN}} = 0,78 \leq 1,0$$

Nachweis erfüllt 78% Auslastung.

Nachweis der Stegglaschen

Der Nachweis der Stäglaschen erfolgt über den vereinfachten Nachweis im Vergleich der Flächen:

$$A_L = 2 \cdot h_1 \cdot d_1 = 2 \cdot 40 \text{ cm} \cdot 0,8 \text{ cm} = 64 \text{ cm}^2 > A_{\text{steg}} = h_w \cdot t_w = 43,45 \text{ cm}^2$$

Nachweis erfüllt

Nachweis der Schraubenverbindungen im Trägersteg

Überprüfung der Lochabstände

$$e_1 : 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_1 = 55 < 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 8 + 40 = 72 \quad [\text{mm}]$$

$$p_1 : 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 21 = 46,2 < p_1 = 100 < 14 \cdot t = 14 \cdot 8 = 112 ; 200 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2 : 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_2 = 60 < 4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 8 + 40 = 72 \quad [\text{mm}]$$

$$p_2 : 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 21 = 50,4 < p_2 = 100 < 14 \cdot t = 14 \cdot 8 = 112 ; 200 \quad [\text{mm}]$$

Schnittgrößen

$$\text{Querkraft} \quad V_{Ed} = 160 \text{ KN}$$

$$\text{Exzentrizitätsmoment} \quad M_1 = V_{Ed} \cdot e_1 = 160 \text{ KN} \cdot 11,5 \text{ cm} = 1840 \text{ KNcm}$$

$$\text{Stegmoment} \quad M_{\text{Steg}} = 54,53 \text{ KNm}$$

$$\text{Moment} \quad M_x = M_{\text{Steg}} + M_1 = 54,53 \text{ KNcm} + 1840 \text{ KNcm} = 7293 \text{ KNcm}$$

Ermittlung der Schraubenkräfte nach dem I_p- Verfahren :

$$I_p = \sum r_i^2 = \sum x_i^2 + \sum z_i^2 = 4 \cdot 5^2 + 4 \cdot 15^2 + 8 \cdot 5^2 = 1129 \text{ cm}^2$$

$$N_{I_x} = \frac{M_x \cdot \max z}{I_p} = \frac{7293 \text{ KNcm}}{1129 \text{ cm}^2} \cdot 15 \text{ cm} = 97 \text{ KN}$$

$$N_{I_z} = \frac{M_A \cdot \max x}{I_p} = \frac{7293 \text{ KNcm}}{1129 \text{ cm}^2} \cdot 5 \text{ cm} = 32,3 \text{ KN}$$

$$N_R = \sqrt{N_{I_x}^2 + N_{I_z}^2} = \sqrt{97^2 + 32,3^2} = 102 \text{ KN}$$

Ermittlung der Grenzabscherkräfte (je Scherfuge) m=2 Scherfugen

$$F_{v,Rd} = \frac{a_v \cdot A \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 100 \text{ KN/cm}^2 \cdot 3,14 \text{ cm}^2}{1,25} = 151 \text{ KN}$$

$$m \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 151 \text{ KN} = 302 \text{ KN}$$

Nachweis $\frac{N_R}{m \cdot F_{v,Rd}} = \frac{102 \text{ KN}}{2 \cdot 151 \text{ KN}} = 0,33 \leq 1,0$

Grenzlochleibungskraft für $t_w = 1,02 \text{ cm}$

Die Grenzlochleibungskräfte werden näherungsweise nach (Tab.49 Anhang) bestimmt

$$F_{x,Rd} = 120 \text{ KN} \cdot 1,02 = 122 \text{ KN} \quad (e_1 = 55 \text{ mm Randabstand})$$

$$F_{z,Rd} = 131 \text{ KN} \cdot 1,02 = 133 \text{ KN} \quad (e_2 = e_1 = 60 \text{ mm Randabstand})$$

Nachweis: $\frac{N_{I_x}}{F_{x,Rd}} = \frac{97 \text{ KN}}{122 \text{ KN}} = 0,79 \leq 1,0$

$$\frac{N_{I_z}}{F_{z,Rd}} = \frac{32,3 \text{ KN}}{133 \text{ KN}} = 0,24 \leq 1,0$$

Nachweise erfüllt.

5.2 Biegesteife Laschenverbindung DIN 18800

Skizze: Siehe 5.1

Trägerprofil: IPE 500

Gurtlasche : Bl 490mm×200mm×20mm einseitig

Steglasche : Bl 440mm×380mm×8mm beidseitig

Werkstoff : S 235

Schrauben : M 20 / 10.9 $d_L=21$ mm

Schnittgrößen : $M_y=400$ KNm $V_z=160$ KN $N=0$

Aufteilung der Schnittgrößen auf die Querschnittsteile

Die Aufteilung erfolgt nach dem gleichen Ansatz der Beispielrechnung nach EC3

$$V_{\text{Steg}} = V_z = 160 \text{ KN}$$

$$M_{y,\text{Steg}} = \frac{M_y \cdot I_{y,\text{Steg}}}{I_y} = \frac{400 \text{ KNm} \cdot 6571 \text{ cm}^4}{48199 \text{ cm}^4} = 54,53 \text{ KNm}$$

$$M_{y,\text{Gurt}} = M_y - M_{\text{steg}} = 400 \text{ KNm} - 54,53 \text{ KNm} = 345,47 \text{ KNm}$$

$$N_{o,\text{Gurt}} = \frac{-M_{y,\text{Gurt}}}{h_{\text{Gurt}}} = \frac{-34547 \text{ KNcm}}{(50 \text{ cm} - 1,6 \text{ cm})} = -713,8 \text{ KN} \quad (\text{Druckbeanpruchung})$$

$$N_{u,\text{Gurt}} = \frac{M_{y,\text{Gurt}}}{h_{\text{Gurt}}} = \frac{34547 \text{ KNcm}}{(50 \text{ cm} - 1,6 \text{ cm})} = 713,8 \text{ KN} \quad (\text{Zugbeanpruchung})$$

Nachweis des Trägerprofils

Ermittlung der Querschnittswerte $A_{\text{Brutto}} = \frac{A}{2} = \frac{115,5 \text{ cm}^2}{2} = 57,75 \text{ cm}^2$

$$A_{\text{Netto}} = A_{\text{Brutto}} - \sum (\Delta A)$$

$$\sum \Delta A = (2 \cdot d_L \cdot t_s + 2 \cdot d_1 \cdot t_f) = (2 \cdot 2,1 \text{ cm} \cdot 1,02 \text{ cm} + 2 \cdot 2,1 \text{ cm} \cdot 1,6 \text{ cm}) = 11 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{Netto}} = 57,75 \text{ cm}^2 - 11 \text{ cm}^2 = 46,75 \text{ cm}^2$$

Nachweis $\frac{A_{\text{Brutto}}}{A_{\text{Netto}}} = \frac{57,75 \text{ cm}^2}{46,76 \text{ cm}^2} = 1,23 \geq 1,2$

Der Lochabzug in der Zugzone ist zu berücksichtigen

Querschnittswerte des geschwächten Trägers [nach (16) S.6/21]:

$$I_{\text{Netto}} = I_y - \sum \Delta I$$

ΔI der Löcher

$$\sum \Delta I = 2 \cdot 1 \cdot 1,02 \cdot (5)^2 + 2 \cdot 1 \cdot 1,02 \cdot (15)^2 + 2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1,6 \cdot (24,2)^2 = 4471 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{Netto}} = I_y - \sum \Delta I = 48199 \text{ cm}^4 - 4471 \text{ cm}^4 = 43728 \text{ cm}^4$$

Der Schwerpunkt des Profils bleibt vereinfacht unverändert.

Nachweis des geschwächten Querschnitts:

$$\text{Normalspannung } \sigma_{\perp} = \frac{M_y}{I_{y\text{Netto}}} \cdot \left(\frac{h}{2}\right) = \frac{40000 \text{ KNcm}}{43728 \text{ cm}^4} \cdot \left(\frac{50}{2}\right) \text{ cm} = 22,9 \text{ KN/cm}^2$$

$$\text{Nachweis } \frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{R,d}} = \frac{22,9 \text{ KN/cm}^2}{21,8 \text{ KN/cm}^2} = 1,05 > 1,0$$

Der Nachweis ist nicht erfüllt 5 % Überlastung

$$\text{Grenzkriterium der Schubspannung } \frac{A_{\text{Gurt}}}{A_{\text{Steg}}} = \frac{1,6 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm}}{1,02 \text{ cm} \cdot (50 \text{ cm} - 2 \cdot 1,6 \text{ cm})} = 0,67 > 0,6$$

erfüllt.

$$\text{Schubspannung } \tau_{\parallel} = \frac{V_z}{A_{\text{Steg}}} = \frac{160 \text{ KN}}{47,7 \text{ cm}^2} = 3,35 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2} < 0,5 \cdot \tau_{Rd} \text{ ,der Vergleichsspannungsnachweis entfällt.}$$

$$\text{Nachweis } \frac{\tau_{\parallel}}{\tau_{R,d}} = \frac{3,35 \text{ KN/cm}^2}{12,59 \text{ KN/cm}^2} = 0,27 < 1,0 \text{ Nachweis der Schubspannung ist erfüllt.}$$

Überprüfung des $\frac{b}{t}$ -Verhältniss :

$$\text{Spannung an der Stelle 1 } \frac{M_y}{I_{y\text{Netto}}} \cdot z_1 = \frac{40000 \text{ KNcm}}{43728 \text{ cm}^4} \cdot 23,4 \text{ cm} = 21,4 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Trägersteg IPE 500 : } \psi = \frac{-21,4 \text{ KN/cm}^2}{21,4 \text{ KN/cm}^2} = -1,0$$

$$\text{grenz } \frac{b}{t} = 133 \cdot \sqrt{\frac{24}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}} = 133 \cdot \sqrt{\frac{24}{21,4 \cdot 1,1}} = 134,3$$

$$\text{vorh } \frac{b}{t} = \frac{42,6}{1,02} = 41,8 \leq \text{grenz } \frac{b}{t} = 134,3$$

Trägergurt IPE 500 : $\psi = \frac{21,4 \text{ KN/cm}^2}{21,4 \text{ KN/cm}} = 1,0$

$$\text{grenz } \frac{b}{t} = 12,9 \cdot \sqrt{\frac{24}{\sigma_1 \cdot \gamma_M}} = 12,9 \cdot \sqrt{\frac{24}{21,4 \cdot 1,1}} = 13$$

$$\text{vorh } \frac{b}{t} = \frac{7,39}{1,6} = 4,62 \leq \text{grenz } \frac{b}{t} = 13$$

Die grenz b/t Verhältnisse des Trägerprofils sind eingehalten. Ein Beulnachweis nach DIN 18800 T3 ist nicht zu führen .

Nachweis der Zuglasche

$$A_{\text{Brutto}} = b_{\text{lasche}} \cdot t_{\text{lasche}} = 2,0 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm} = 40 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{Netto}} = A_{\text{Brutto}} - \sum (t_{\text{lasche}} \cdot d_1) = 40 \text{ cm}^2 - (2 \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,1 \text{ cm}) = 32,1 \text{ cm}^2$$

$$\frac{A_{\text{Brutto}}}{A_{\text{Netto}}} = \frac{40 \text{ cm}^2}{32,1 \text{ cm}^2} = 1,25 > 1,2 \quad \text{Der Lochabzug ist zu berücksichtigen}$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{N_{u, \text{Gurt}}}{A_{\text{Netto}}} = \frac{713,8 \text{ KN}}{31,2 \text{ cm}^2} = 22,6 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{Rd}} = \frac{f_{y, k}}{\gamma_M} = \frac{24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 21,8 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis $\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\text{R, d}}} = \frac{22,6 \text{ KN/cm}^2}{21,8 \text{ KN/cm}^2} = 1,04 > 1,0$

Nachweis ist nicht erfüllt 4% Überlastung

Nachweis der Drucklasche

$$A_{\text{Brutto}} = b_{\text{lasche}} \cdot t_{\text{lasche}} = 2,0 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm} = 40 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{N_{0, \text{Gurt}}}{A_{\text{Netto}}} = \frac{713,8 \text{ KN}}{40 \text{ cm}^2} = 17,8 \frac{\text{KN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis $\frac{\sigma_{\perp}}{\sigma_{\text{R, d}}} = \frac{17,8 \text{ KN/cm}^2}{21,8 \text{ KN/cm}^2} = 0,81 < 1,0$

Nachweis erfüllt 81 % Auslastung

Nachweis der Schraubenverbindungen

Nachweis der Schrauben in den Gurtlaschen

Die Gurtlaschen sind mittig beansprucht. Die Belastungen werden zu gleichen Teilen auf die Schrauben verteilt.

Skizze: Siehe 5.1

Überprüfung von Rand- und Lochabständen

$$e_1: 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_1 = 60 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 21 = 63; 6 \cdot t = 6 \cdot 16 = 96 \quad [\text{mm}]$$

$$e: 2,2 \cdot d_L = 2,2 \cdot 21 = 46,2 < e = 60 < 10 \cdot d_L = 10 \cdot 21 = 210; 20 \cdot t = 20 \cdot 16 = 320 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2: 1,2 \cdot d_L = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_2 = 55 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 21 = 63; 6 \cdot t = 6 \cdot 16 = 96 \quad [\text{mm}]$$

$$e_3: 2,4 \cdot d_L = 2,4 \cdot 21 = 50,4 < e_3 = 90 < 10 \cdot d_L = 10 \cdot 21 = 210; 20 \cdot t = 20 \cdot 16 = 320 \quad [\text{mm}]$$

Ermittlung der Grenzabscherkraft

$$\alpha_a = 0,55 \quad (\text{Festigkeit 10.9}); \quad A_{\text{Sch}} = 3,14 \text{ cm}^2; \quad f_{u,b,k} = 100 \text{ KN/cm}^2$$

$$V_{a,R,d} = \frac{A \cdot \alpha_a \cdot f_{u,b,k}}{\gamma_M} = \frac{3,14 \text{ cm}^2 \cdot 0,55 \cdot 100 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = \underline{\underline{157 \text{ KN}}}$$

Ermittlung der Grenzlochleibkraft

$$f_{y,k} = 24 \text{ KN/cm}^2; \quad t_{\text{Lasche}} = 20 \text{ mm}; \quad d_{\text{sch}} = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Beiwert} \quad - \quad \alpha_L \quad e_2 = 55 \text{ mm} > 1,5 \cdot d_L = 1,5 \cdot 21 \text{ mm} = 31,5 \text{ mm}$$

$$e_3 = 90 \text{ mm} > 3,0 \cdot d_L = 3,0 \cdot 21 \text{ mm} = 63 \text{ mm}$$

Grenzlochleibungskraft für Schraube 1 (Abb.53)

Randabstand in Kraftrichtung

$$\alpha_L = 1,1 \cdot e_1 / d_L - 0,3 = 1,1 \cdot 60 / 21 - 0,3 = 2,84$$

Lochabstand in Kraftrichtung

$$\alpha_L = 1,08 \cdot e / d_L - 0,77 = 1,08 \cdot 60 / 21 - 0,77 = 2,31 \leq 3,0$$

Randabstand (Lasche)

$$V_{l,R,d} = \frac{t \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_L \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{2,0 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,84 \cdot 24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 248 \text{ KN}$$

Lochabstand (Gurt)

$$V_{l,R,d} = \frac{t \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_L \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{1,6 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,31 \cdot 24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 161 \text{ KN}$$

Grenzlochleibungskraft für Schraube 2 (Abb.53)

Lochabstand in Krafrichtung

$$\alpha_L = 1,08 \cdot e/d_L - 0,77 = 1,08 \cdot 60/21 - 0,77 = 2,31 \leq 3,0$$

Lochabstand (Lasche)

$$V_{l,R,d} = \frac{t \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_L \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{2,0 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,31 \cdot 24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 202 \text{ KN}$$

Lochabstand (Gurt)

$$V_{l,R,d} = \frac{t \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_L \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{1,6 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,31 \cdot 24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 161 \text{ KN}$$

Grenzlochleibungskraft für Schraube 3 (Abb.53)

Lochabstand in Krafrichtung

$$\alpha_L = 1,08 \cdot e/d_L - 0,77 = 1,08 \cdot 60/21 - 0,77 = 2,31 \leq 3,0$$

Randabstand in Krafrichtung

$$\alpha_L = 1,1 \cdot e_1/d_L - 0,3 = 1,1 \cdot 60/21 - 0,3 = 2,84$$

Lochabstand Lasche

$$V_{l,R,d} = \frac{t \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_L \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{2,0 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,31 \cdot 24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 248 \text{ KN}$$

Randabstand Gurt

$$V_{l,R,d} = \frac{t \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_L \cdot f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{1,6 \text{ cm} \cdot 2,0 \text{ cm} \cdot 2,84 \cdot 24 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = 208 \text{ KN}$$

$$\sum V_{l,R,d} = 2 \cdot 161 \text{ KN} + 2 \cdot 161 \text{ KN} + 2 \cdot 208 \text{ KN} = 1060 \text{ KN}$$

$$\sum V_{a,R,d} = 6 \cdot 157 \text{ KN} = 942 \text{ KN} \quad , \text{ die Grenzabscherkraft wird maßgebend !}$$

$$\text{Nachweis } \frac{N_{u,Gurt}}{\sum V_{a,R,d}} = \frac{713,8 \text{ KN}}{942 \text{ KN}} = 0,76 < 1,0 \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Nachweis der Steglaschen

Der Nachweis der Steglaschen erfolgt mit dem indirekten Nachweis über den Vergleich der Flächen nach [(16) S. 6/43]:

$$A_L = 2 \cdot h_1 \cdot d_1 = 2 \cdot 40 \text{ cm} \cdot 0,8 \text{ cm} = 64 \text{ cm}^2 > A_{\text{steg}} = h_s \cdot t_s = 43,45 \text{ cm}^2$$

Der indirekte Nachweis ist erfüllt. Die Summe der Flächen der Steglaschen ist größer als die Stegfläche. Die Kräfte können übertragen werden.

Nachweis der Schraubenverbindungen im Trägersteg

Der Nachweis der Schraubenverbindungen wird über die maximal beanspruchte Stegstoßschraube geführt.

Überprüfung der Lochabstände

$$e_1 : 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_1 = 55 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 21 = 63 ; 6 \cdot t = 6 \cdot 10 = 60 \quad [\text{mm}]$$

$$e : 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 21 = 46,2 < e = 100 < 10 \cdot d_L = 10 \cdot 21 = 210 ; 20 \cdot t = 20 \cdot 8 = 160 \quad [\text{mm}]$$

$$e_2 : 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 21 = 25,2 < e_2 = 60 < 3 \cdot d_L = 3 \cdot 21 = 63 ; 6 \cdot t = 6 \cdot 10 = 60 \quad [\text{mm}]$$

$$e_3 : 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 21 = 50,4 < e_3 = 100 < 10 \cdot d_L = 10 \cdot 21 = 210 ; 20 \cdot t = 20 \cdot 8 = 160 \quad [\text{mm}]$$

Schnittgrößen:

$$\text{Querkraft } V_v = 160 \text{ KN}$$

$$\text{Exzentrizitätsmoment } M_1 = V_z \cdot e_1 = 160 \text{ KN} \cdot 11,5 \text{ cm} = 1840 \text{ KNcm}$$

$$\text{Stegmoment } M_{\text{Steg}} = 54,53 \text{ KNm}$$

$$\text{Moment } M_x = M_{\text{Steg}} + M_1 = 54,53 \text{ KNcm} + 1840 \text{ KNcm} = 7293 \text{ KNcm}$$

Ermittlung der Schraubenkräfte nach dem I_p- Verfahren:

$$I_p = \sum r_i^2 = \sum x_i^2 + \sum z_i^2 = 4 \cdot 5^2 + 4 \cdot 15^2 + 8 \cdot 5^2 = 1129 \text{ cm}^2$$

$$N_{I_x} = \frac{M_x \cdot \max z}{I_p} = \frac{7293 \text{ KNcm}}{1129 \text{ cm}^2} \cdot 15 \text{ cm} = 97 \text{ KN}$$

$$N_{I_z} = \frac{M_A \cdot \max x}{I_p} = \frac{7293 \text{ KNcm}}{1129 \text{ cm}^2} \cdot 5 \text{ cm} = 32,3 \text{ KN}$$

$$N_R = \sqrt{N_{I_x}^2 + N_{I_z}^2} = \sqrt{97^2 + 32,3^2} = 102 \text{ KN}$$

Ermittlung der Grenzabscherkräfte (je Scherfuge) m=2 Scherflächen

$$\alpha_a = 0,55 \quad \text{Schrauben (10.9); } A = A_{\text{Sch}} = 3,14 \text{ cm}^2 \quad ; \quad f_{u,b,k} = 100 \text{ KN/cm}^2$$

$$V_{a,R,d} = \frac{A \cdot \alpha_a \cdot f_{u,b,k}}{\gamma_M} = \frac{3,14 \text{ cm}^2 \cdot 0,55 \cdot 100 \text{ KN/cm}^2}{1,1} = \underline{\underline{157 \text{ KN}}}$$

Nachweis $\frac{N_R}{m \cdot V_{a,R,d}} = \frac{102 \text{ KN}}{2 \cdot 157 \text{ KN}} = 0,32 \leq 1,0$

Grenzlochleibungskraft für t_w = 1,02 cm

Die Grenzzugleibungskräfte werden näherungsweise nach (Tab.48 im Anhang) bestimmt

$$V_{l,x,Rd} = 113 \text{ KN} \cdot 1,02 = 115 \text{ KN} \quad (e_1 = 55 \text{ mm Randabstand})$$

$$V_{l,z,Rd} = 124 \text{ KN} \cdot 1,02 = 126 \text{ KN} \quad (e_2 = e_1 = 60 \text{ mm Randabstand})$$

Nachweis : $\frac{N_{I_x}}{V_{l,x,Rd}} = \frac{97 \text{ KN}}{115 \text{ KN}} = 0,84 \leq 1,0$

$$\frac{N_{I_z}}{V_{l,z,Rd}} = \frac{32,3 \text{ KN}}{126 \text{ KN}} = 0,25 \leq 1,0$$

Nachweise erfüllt.

Auswertung

Nachweis	DIN EN 1993	DIN 18800
Träger (Biegung)	95,00%	105,00%
Zuglasche	88,00%	104,00%
Drucklasche	76,00%	81,00%
Schraubverbindung	78,00%	76,00%

Tab.31e Auslastungen der Einzelnachweise des biegesteifen Laschenanschluss

Der Nachweis der biegesteifen Laschenverbindung zeigt die Querschnittsklassifizierung nach Eurocode 3 im Vergleich zum b/t - Verhältniss nach DIN 18800. Es ist für beide Nachweisverfahren keine Beulgefährdung der druckbeanpruchten Querschnittsteile festzustellen. Der Nachweis der biegebeanspruchten Trägerprofile zeigt Abweichungen in den Auslastungen. Eine Auslastung von 95 % nach DIN EN 1993 ist auf den Ansatz der plastischen Tragreserven zurückzuführen. Der Querschnitt IPE 500 wird für den Nachweis in die Querschnittsklasse 1 eingeordnet. Der Nachweis des Grundwerkstoffs nach DIN 18800 weist eine Überlastung von 5 % bei Biegebeanspruchung auf. Die zugbeanspruchte Gurtlasche zeigt gleichermaßen Auslastungsunterschiede, die auf dem Ansatz der plastischen Tragreserven in der Berechnung nach DIN EN 1993 basieren. Der Laschenstoß wurde mit hochfesten Schrauben M20 10.9 mit einem Lochspiel $\Delta d = 1,0 \text{ mm}$ ausgeführt. Beim Nachweis der Verbindungsmittel ist für die Grenzabscherkraft eine bessere Auslastung nach DIN 18800 76% zu DIN EN 1993 78% berechnet worden.

6. Vergleichsberechnungen

Um Unterschiede in der Auslastung der Nachweise für gelenkige Anschlüsse zu ermitteln, wurden für alle gelenkigen Anschlusskonstruktionen Vergleichsberechnungen mit unterschiedlichen Profilen durchgeführt. Sowohl aufnehmbare Lasten der Anschlüsse, als auch Einzelnachweise des Grundwerkstoffs und der Verbindungsmittel wurden im Normenvergleich DIN 18800 und DIN EN 1993 untersucht. Für den Stirnplattenanschluss und den Anschluss mit Doppelwinkeln wurde zusätzlich ein Vergleich der aufnehmbaren Lasten, die nach (13) angegeben sind, vorgenommen.

6.1 Knaggenanschluss

Um Vergleichswerte zu erhalten wurden die aufnehmbaren Lasten ermittelt, die in die unausgesteiften Trägerstege von den IPE Profilen 200,300,400 und 500 eingeleitet werden können. Für den Nachweis wurde eine Knagge B140 mm für IPE 400 und IPE 500 vorgesehen. Für die Profile IPE 200 und IPE 300 eine Knagge B130 mm. Der Spalt $\Delta l = 10 \text{ mm}$ wurde für alle Varianten bestimmt. Weiterhin wurde die Kontaktpressung für den Nachweis der Knaggenanschlüsse für die Ausführungen überprüft. Die konstruktiven Ausführungen der berechneten Anschlüsse sind im Anhang dargestellt. Die Schweißverbindung der Knagge mit der Anschlussfläche wurde für die Ermittlung der aufnehmbaren Lasten nicht berücksichtigt.

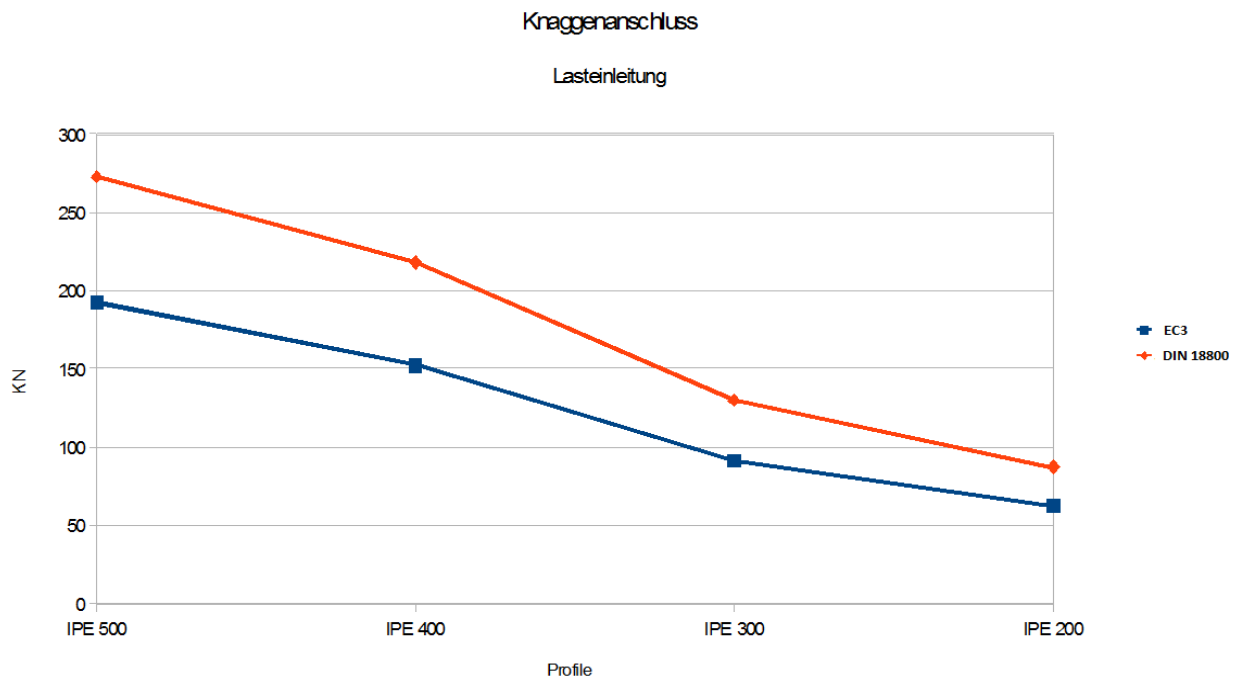


Abb.54 Lasteinleitung in den Trägersteg der Knaggenanschlüsse im Vergleich

Aufnehmbare Querkräfte unausgesteifter Trägerstege

	DIN 18800	DIN EN 1993
IPE 200	87,5 KN	62,52 KN
IPE 300	130 KN	91 KN
IPE 400	218,2 KN	152,3 KN
IPE 500	272,6 KN	192,6 KN

Tab.32 Aufnehmbare Querkräfte der Trägerstege für Knaggenanschlüsse im Vergleich

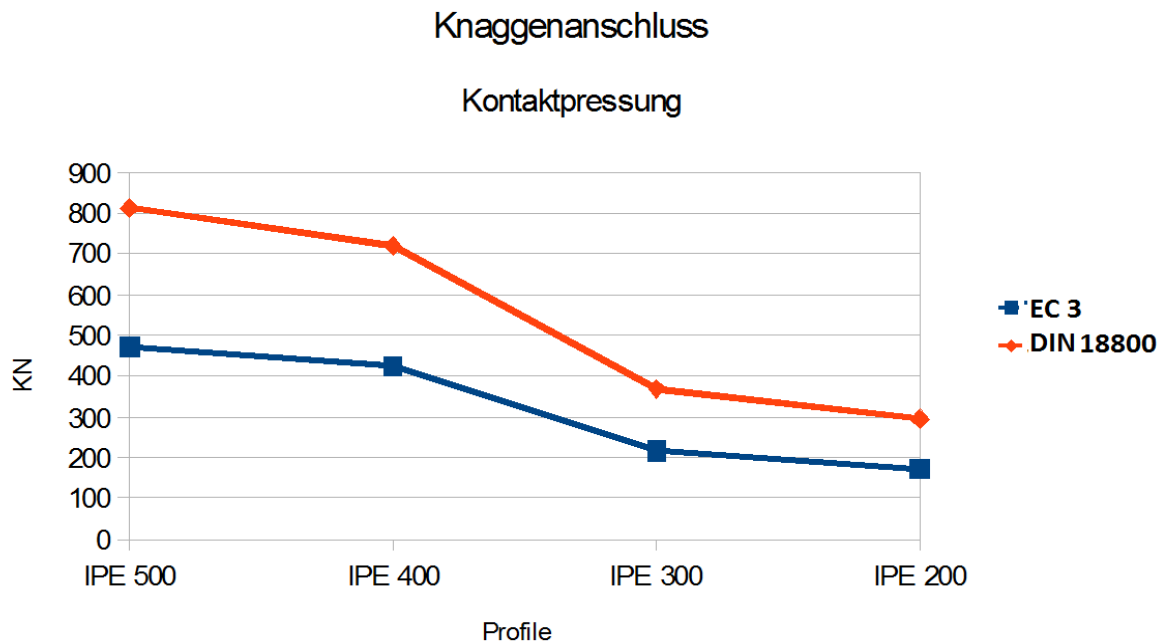


Abb.55 Kontaktpressung der Knaggenanschlüsse im Vergleich

Aufnehmbare Querkräfte durch die Kontaktpressung

	DIN 18800	DIN EN 1993
IPE 200	294 KN	172 KN
IPE 300	369 KN	216 KN
IPE 400	719 KN	424 KN
IPE 500	811 KN	470 KN

Tab.33 aufnehmbare Querkräfte durch Kontaktpressung im Vergleich

Für die Untersuchung der Tragfähigkeiten von Knaggenanschlüssen im Normenvergleich wurden die aufnehmbaren Querkräfte für die unausgesteiften Trägerstege und der Kontaktpressung ermittelt und tabellarisch gegenübergestellt. Als maßgebendes Kriterium der Nachweisführung hat sich die Lasteinleitung in die unausgesteiften Trägerstege erwiesen. Im Durchschnitt sind die einleitbaren Lasten nach DIN 18800, ohne eine aussteifende Rippe vorzusehen, um 40% höher als nach DIN EN 1993 (siehe Tab.32). Das

Verhältnis der Lastausbreitung wird durch beide Normen sehr unterschiedlich angegeben. DIN 18800 sieht ein Lastausbreitungsverhältniss von 1:2,5 vor. DIN EN 1993 hingegen ein Verhältniss von 1:1. Aus den unterschiedlichen Lastausbreitungsverhältnissen ergeben sich sowohl für den Nachweis der Lasteinleitung in den Trägersteg als auch für den Nachweis der Kontaktpressung schlechtere Auslastungen für DIN EN 1993 (siehe Abb.54 und Abb.55).

6.2 Fahnablechanschluss

Für die Vergleichsberechnungen der Fahnablechanschlüsse sind die aufnehmbaren Bemessungslasten für den maßgebenden Nachweis der Schubbeanspruchung ermittelt worden. Der Nachweis wurde für beide Normen nach der Elastizitätstheorie geführt. Die konstruktiven Ausführungen der berechneten Fahnablechanschlüsse sind im Anhang abgebildet.

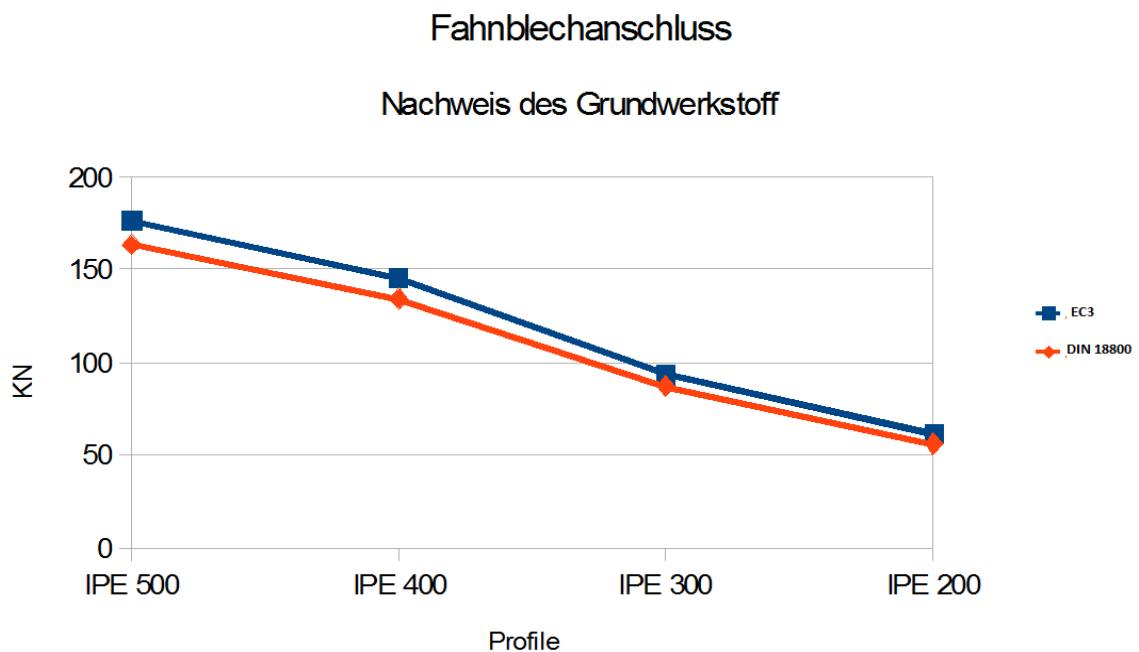


Abb.56 Nachweis des Grundwerkstoffes der Fahnableche im Vergleich

Aufnehmbare Querkräfte des Grundwerkstoff des Anschlussblechs

	DIN 18800	DIN EN 1993
IPE 200	56 KN	61 KN
IPE 300	87 KN	93 KN
IPE 400	134 KN	145 KN
IPE 500	163 KN	176 KN

Tab.35 Aufnehmbare Querkräfte der Fahnableche im Vergleich

Der Nachweis des Grundwerkstoff der Fahnbleche auf Torsion und Schubbeanspruchung erweist sich für die berechneten Fahnblechanschlüsse an eine „starre“ Anschlussfläche als maßgebend. Die berechneten Fahnblechanschlüsse nach DIN 18800 und Eurocode 3 weisen nur geringe Tragfähigkeitsunterschiede auf (siehe Abb.56 und Tab.35). Die Abweichungen basieren auf der normenabhängigen Angabe der Streckgrenze für den Baustahl S 235 von $f_y=235 \text{ N/mm}^2$ nach DIN EN 1993 und den Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{M0}=1,0$. DIN 18800 hingegen setzt die Streckgrenze mit $f_{y,k}=240 \text{ N/mm}^2$ fest und verwendet den Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_M=1,1$. Das Zusammenwirken der Streckgrenze und Teilsicherheitsbeiwerte im Nachweis der Schubspannung entspricht dem Auslastungsunterschied von 8 %. Der Nachweis des Grundwerkstoffs wurde, wie in der Beispielrechnung, nach der Elastizitätstheorie geführt. Es wird ersichtlich, dass Fahnblechanschlüsse, bei denen gleichermaßen der Nachweis des Grundwerkstoffs maßgebend ist, eine höhere Tragfähigkeit von rund 8% aufweisen. Die wirtschaftlichere Konstruktion ist nach EC 3 möglich.

6.3 Stirnplattenanschluss

Der Stirnplattenanschluss wurde auf die Auslastungsunterschiede der Einzelnachweise untersucht. Die konstruktive Gestaltung wurde identisch mit den Vorgaben aus (13) ausgeführt. Nachgewiesen wurden die Anschlüsse IS H 20 2 für den IPE 200 ,IS H 20 4 für IPE 300 und IPE 400 und der IS H 20 6 für das Profil IPE 500.

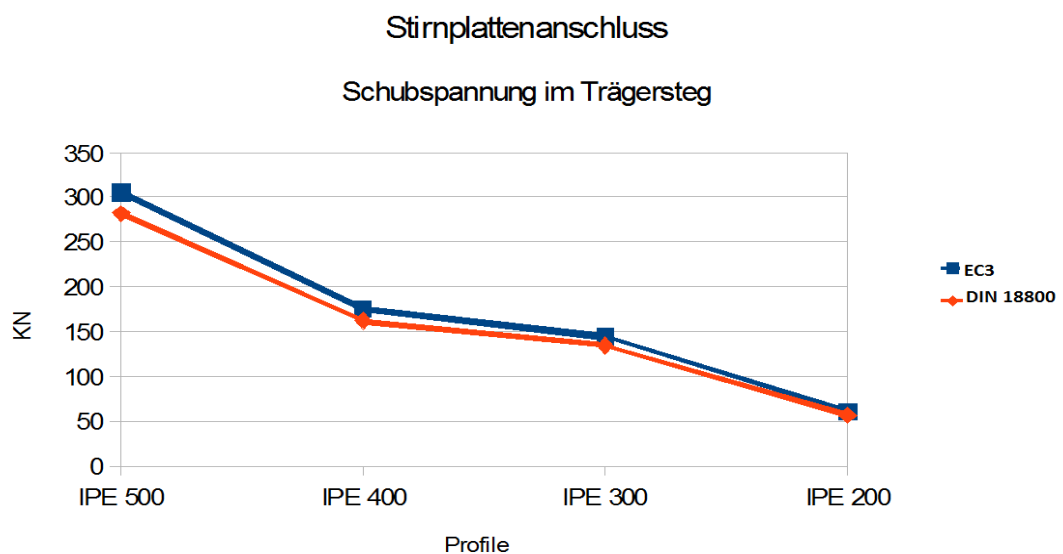


Abb.57: Schubspannung im Trägersteg neben der Schweißnaht im Vergleich

Schubbeanspruchung im Trägersteg neben der Schweißnaht:

	h_p	$t_s=t_w$	DIN 18800 V_z	DIN EN 1993 $V_{z,Ed}$
IPE 200	8,0 cm	0,56 cm	56,3 KN	60,93 KN
IPE 300	15,0 cm	0,71 cm	134 KN	144,8 KN
IPE 400	15,0 cm	0,86 cm	162 KN	175 KN
IPE 500	22,0 cm	1,02 cm	282 KN	305,2 KN

Tab.36 Aufnehmbare Querkräfte der Trägerstege neben der Schweißnaht im Vergleich

Die vergleichende Untersuchung der Schubbeanspruchung im Trägersteg neben der Schweißnaht für Stirnplattenverbindungen (Abb.57 und Tab.36), weist aufgrund der identischen Nachweisführung für die mittlere Schubspannung, geringe Auslastungsunterschiede auf. Diese sind auf die unterschiedliche Annahme der Teilsicherheitsbeiwerte und Streckgrenzen der Stahlbaunormen zurückzuführen (Vergleich 6.2).

Aufnehmbare Querkraft der Schweißverbindung:

	a	l_{eff}	DIN 18800 V_z	DIN EN 1993 $V_{z,Ed}$
IPE 200	3 mm	8,0 cm	99,5 KN	99,8 KN
IPE 300	3 mm	15,0 cm	186 KN	187 KN
IPE 400	3 mm	15,0 cm	186 KN	187 KN
IPE 500	4 mm	22,0 cm	365 KN	365 KN

Tab.37 Aufnehmbare Querkräfte der Schweißnähte im Vergleich

Die aufnehmbaren Querkräfte der Schweißnähte die durch reine Schubspannung beansprucht werden sind für das richtungsbezogene Nachweisverfahren nach DIN EN 1993 und dem Nachweisverfahren nach DIN 18800 gleich groß.

Abb.58 und Abb.59 stellen die ermittelten aufnehmbaren Querkräfte, die durch die Schraubenverbindungen aufgenommen werden können, im Normenvergleich dar. Die Grenzabscher- und Grenzlochleibungskräfte sind gesondert dargestellt.

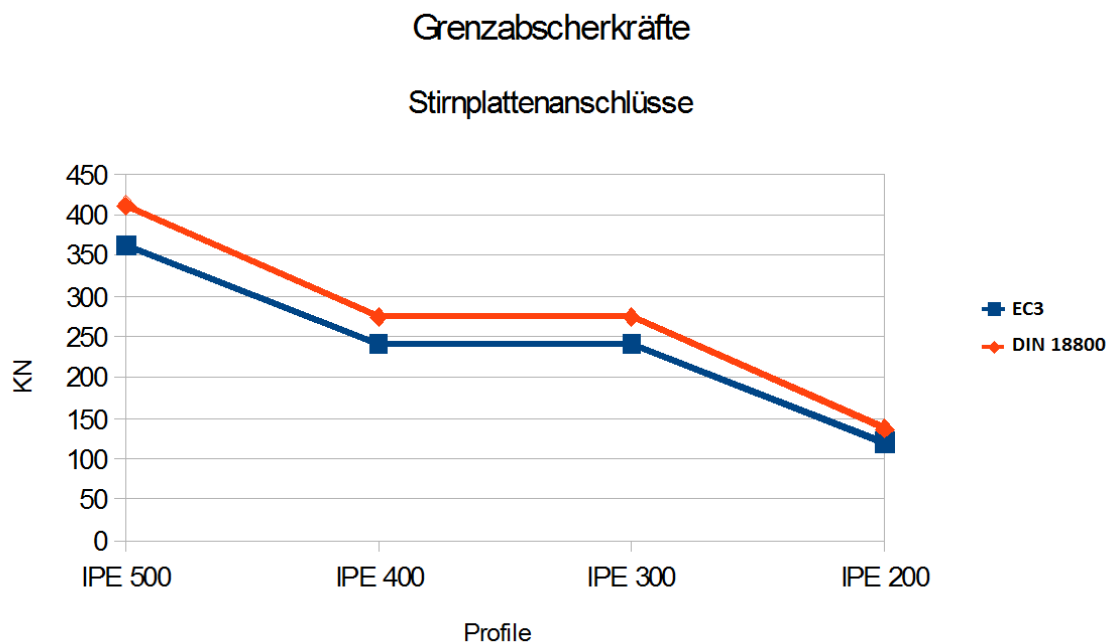


Abb.58 Grenzabscherkräfte der Schrauben im Vergleich

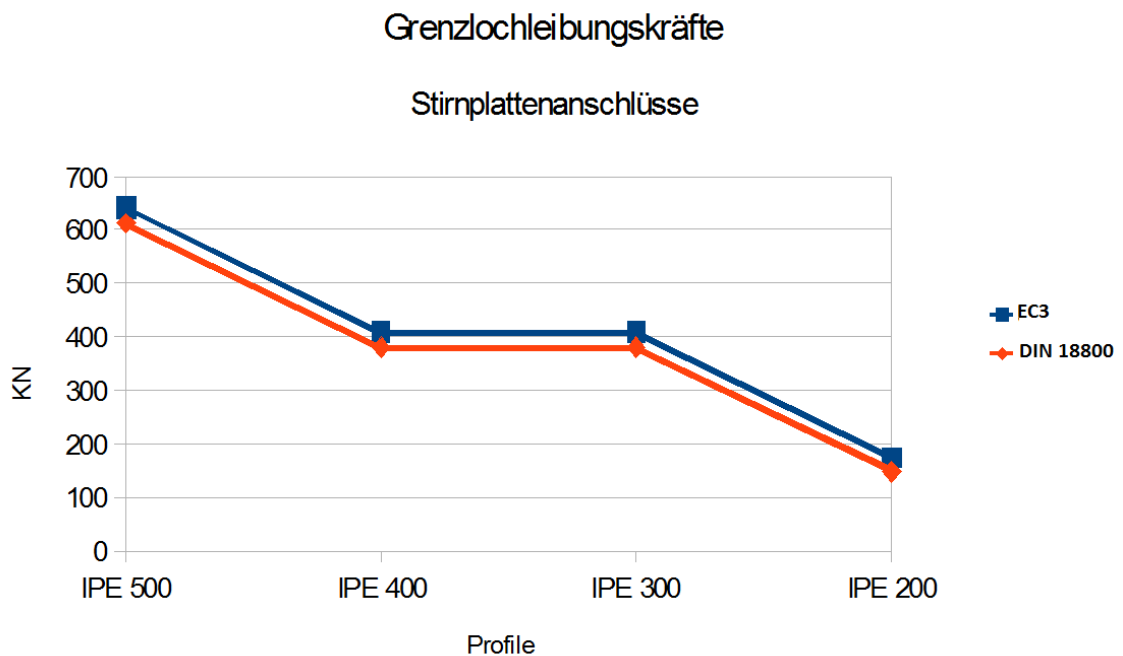


Abb.59 Grenzlochleibungskräfte der Schrauben im Vergleich

Aufnehmbare Querkräfte der Schraubenverbindungen

	DIN 18800		DIN EN 1993	
	Grenzabscherkraft	Grenzlochleibkraft	Grenzabscherkraft	Grenzlochleibkraft
	$\sum V_{a,R,d}$	$\sum V_{l,R,d}$	$\sum F_{v,R,d}$	$\sum F_{l,R,d}$
IPE 200	137 KN	148 KN	120 KN	174 KN
IPE 300	274 KN	380 KN	241 KN	408 KN
IPE 400	274 KN	380 KN	241 KN	408 KN
IPE 500	411 KN	612 KN	362 KN	642 KN

Tab.38 Aufnehmbare Querkräfte der Schraubenverbindung im Vergleich

Die aufnehmbaren Querkräfte der Schraubenverbindungen für Schrauben M20 4.6 im Vergleich zeigen, dass die Grenzabscherkräfte nach DIN 18800 um ca.14% größer sind. Die Lochleibkräfte zum Rand nach DIN EN 1993 ergaben bei den berechneten Beispielen rund 17 % höhere zulässige Belastbarkeiten, als bei der Brechnung nach DIN 18800. Die Lochleibkräfte, die durch den Lochabstand bestimmt wurden, weichen nur um wenige KN voneinander ab (siehe Tab.38 und Abb.58/59).

Grenzbeanspruchbarkeit beim Nachweis auf Blockversagen von Schraubengruppen

	n_v	n_h	L_v	L_h	A_{nv}	A_{nt}	$V_{eff\ l,Rd}$
IPE 200	1	2	4,0 cm	8 cm	5,8 cm ²	5,8 cm ²	245 KN
IPE 300	2	2	11,0 cm	10 cm	7,8 cm ²	18,7 cm ²	644 KN
IPE 400	2	2	11,0 cm	10 cm	7,8 cm ²	18,7 cm ²	644 KN
IPE 500	3	2	18,0 cm	10 cm	7,8 cm ²	25 cm ²	825 KN

Tab.39 Aufnehmbare Querkräfte durch Ausreißen des Anschlussbereichs

Der Nachweis auf Ausreißen des Anschlussbereichs (Blockversagen der Schraubengruppen in der Stirnplatte unter zentrischer Last) wird nicht maßgebend. Die Grenzbeanspruchbarkeiten des Blockversagens (Tab.39) sind wesentlich größer als die, die für die weiteren zu führenden Nachweise ermittelt wurden.

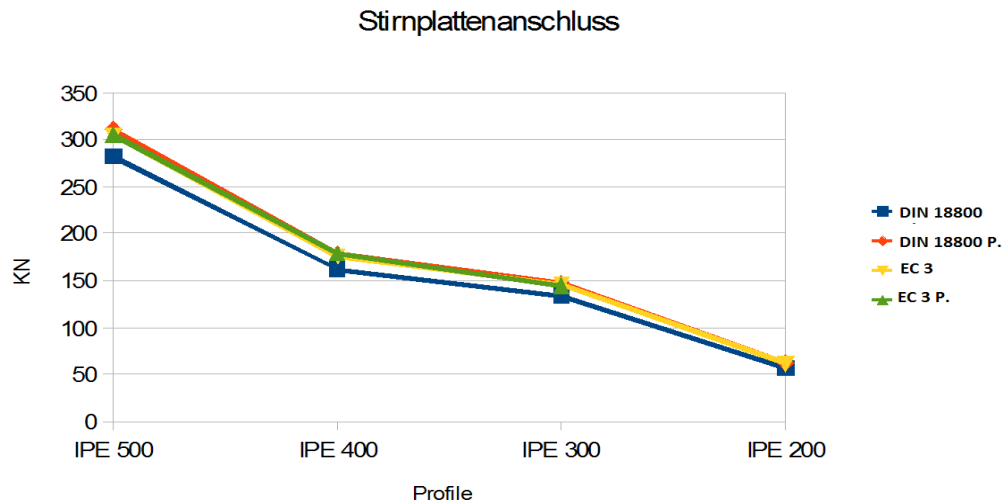


Abb.60 Vergleich der aufnehmbaren Lasten der Stirnplattenanschlüsse mit den Tabellen zum profilorientierten Konstruieren

Abb.60 zeigt die durch Berechnung ermittelten aufnehmbare Grenzlaster der Strinplattenanschlüsse im Vergleich zu Grenzlaster die in den Tabellen zum „profilorientierten Konstruieren im Stahlbau“(13) angegeben werden (P- in Abb.60 steht für profilorientiertes Konstruieren).

Aufnehmbare Lasten ermittelt durch (13) Profilorientiertes Konstruieren im Stahlbau

	DIN 18800	DIN EN 1993
IPE 200 IS 20 2	62,08 KN	60,78 KN
IPE 300 IS 20 4	147,6 KN	144,5 KN
IPE 400 IS 20 4	178,7 KN	175 KN
IPE 500 IS 20 6	310,9 KN	304,5 KN

Tab.40 Aufnehmbare Lasten der Stirnplattenanschlüsse im Vergleich zum Profilorientierten Konstruieren

Aus Abb.60 und Tab.40 wird deutlich, dass berechnete und angegebene Beanspruchbarkeiten nach (13) nur gering voneinander abweichen. Die höhere Belastbarkeiten der Anschlüsse nach DIN 18800 ist auf die Erhöhung der Grenzspannung (DIN 18800-1 / A1 (2.96)) um 10 % zurückzuführen, die bei der Berechnung der Grenzlaster nach (13) berücksichtigt wurde (Vergleiche Tab.40 und Tab.36). Die Schubbeanspruchung der Trägerstege neben der Schweißnaht erweist sich als maßgebend für die berechneten Anschlüsse.

6.4 Doppelwinkelanschluss

Die Berechnung der Doppelwinkelanschlüsse im Normenvergleich wurde mit Konstruktionsvarianten von Doppelwinkelanschlüssen mit einreihigem Schraubenbild nach (13) durchgeführt, ebenso wie die Ermittlung der aufnehmbaren Kräfte nach DIN 18800 und DIN EN 1993. Tabellarische Darstellung der aufnehmbaren Bemessungslasten der Doppelwinkelanschlüsse und der Einzelnachweise. Die maßgebenden Grenzlaster sind unterstrichen. Berechnet wurden die Konstruktionsvarianten der Anschlüsse: IW 2012 für IPE 200/300, IW 2013 für IPE400 und IW 2014 für IPE 500

Schubbeanspruchbarkeit des Grundwerkstoffs

	DIN 18800 V_z	DIN EN 1993 $V_{z,Ed}$
IPE 200	134 KN	145 KN
IPE 300	258 KN	272 KN
IPE 400	417 KN	450 KN
IPE 500	620 KN	669 KN

Tab.41 Aufnehmbare Lasten durch Schubbeanspruchung der Grundwerkstoffe im Vergleich

Grenzlochleibkraft in x-Richtung (e_2)

DIN 18800

	e_2	$V_{l,R,d}$	t_s	e_1	h_1	f	$V_{l,x,R,d} = t_s \cdot V_{l,R,d}$	V_z
IPE 200	5,0 cm	96 KN	0,56 cm	6,0 cm	7,0cm	1	53,76 KN	<u>62 KN</u>
IPE 300	5,0 cm	96 KN	0,71 cm	6,0 cm	7,0 cm	1	68,16 KN	<u>79 KN</u>
IPE 400	5,0 cm	96 KN	0,86 cm	6,0 cm	14 cm	1	82,6 KN	<u>192 KN</u>
IPE 500	5,0 cm	96 KN	1,02 cm	6,0 cm	21 cm	0,9	97,92 KN	380 KN

Tab.42 Grenzlochleibkraft der Schrauben nach DIN 18800

DIN EN 1993

	e_2	$F_{l,R,d}$	t_s	e_1	h_1	f	$F_{l,x,R,d} = t_s \cdot F_{l,R,d}$	$V_{z,Ed}$
IPE 200	5,0 cm	109 KN	0,56 cm	6,0 cm	7,0cm	1	61,0 KN	<u>71 KN</u>
IPE 300	5,0 cm	109 KN	0,71 cm	6,0 cm	7,0 cm	1	77,4 KN	<u>90,3 KN</u>
IPE 400	5,0 cm	109 KN	0,86 cm	6,0 cm	14 cm	1	93 KN	<u>217 KN</u>
IPE 500	5,0 cm	109 KN	1,02 cm	6,0 cm	21 cm	0,9	11,2 KN	432 KN

Tab.43 Grenzlochleibkraft der Schrauben nach DIN EN 1993

Tab.42/43 zeigt den Unterschied in der Auslastung des Nachweis der Grenzlochleibkraft. Für die aufnehmbaren Lasten wurden nach DIN EN 1993 bessere Ergebnisse berechnet.

Aufnehmbare Grenzlasten für den Nachweis der Kontaktpressung

	V_z DIN	$V_{z,Ed}$ EC3
IPE 200	132 KN	146 KN
IPE 300	132 KN	146 KN
IPE 400	210 KN	231 KN
IPE 500	<u>285 KN</u>	<u>315 KN</u>

Tab.44 Aufnehmbare Querkkräfte für die Kontaktpressung der Doppelwinkelanschlüsse im Vergleich

Doppelwinkelanschluss

aufnehmbare Lasten

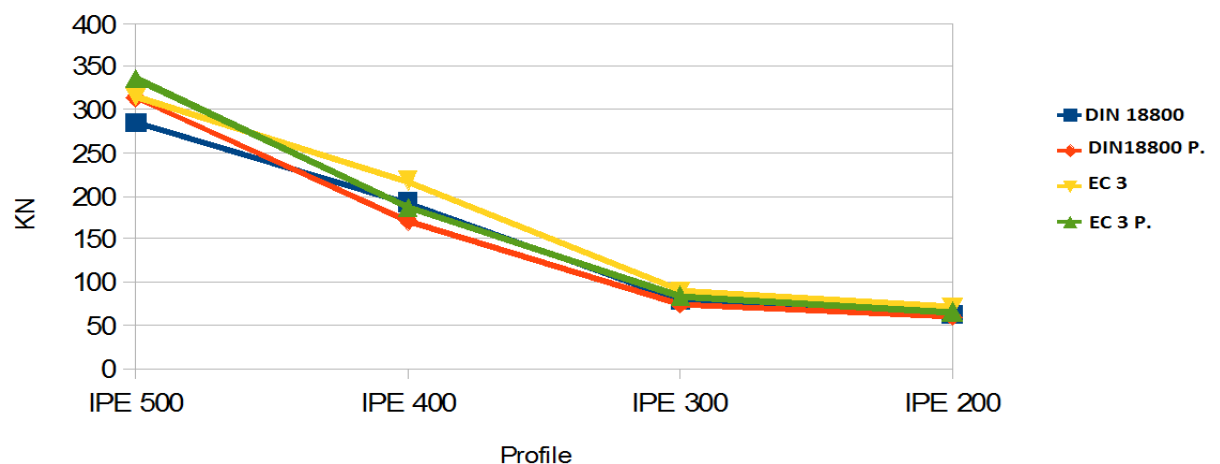


Abb.61 Vergleich der aufnehmbaren Lasten der Doppelwinkelanschlüsse mit den Tabellen zum profilorientierten Konstruieren

Aufnehmbare Lasten ermittelt durch (13) Profilorientiertes Konstruieren im Stahlbau

	DIN 18800	DIN EN 1993
IPE 200 IS 20 2	59,65 KN	65,77 KN
IPE 300 IS 20 4	73,63 KN	83,88 KN
IPE 400 IS 20 4	171,2 KN	186,4KN
IPE 500 IS 20 6	314,0 KN	336,4 KN

Tab.45 Aufnehmbare Grenzlasten der Doppelwinkelanschlüsse durch die Tabellen zum profilorientierten Konstruieren im Vergleich

Berechnete aufnehmbare Lasten der Doppelwinkelanschlüsse

	IPE 200	IPE 300	IPE 400	IPE 500
DIN 18800 V_z	62 KN	79 KN	192 KN	285 KN
DIN EN 1993 $V_{z,Ed}$	71 KN	90 KN	217 KN	315 KN

Tab.46 Berechnete aufnehmbare Querkräfte der Doppelanschlüsse im Vergleich

Die Ermittlung der Grenzkkräfte durch Berechnung und die aufnehmbaren Grenzkkräfte angegeben durch (13) zeigen Abweichungen (siehe Abb.61). Für die Profile IPE 200 ,IPE 300 und IPE 400 erweist sich die Grenzlochleibungskraft in x-Richtung als maßgebend für die berechneten Anschlüsse. Die aufnehmbaren Grenzlasten sind für die Berechnung nach DIN EN 1993 um rund 13% höher, wenn Grenzlochleibkräfte maßgebend werden. Der Nachweis der Kontaktpressung am Trägersteg der IPE 500 Profile wird sowohl nach DIN 18800 als auch DIN EN 1993 maßgebend. Im Vergleich zu den aufnehmbaren Grenzkkräften nach (13) ist ersichtlich, dass für den IPE 500 Anschluss die Grenzlasten höher festgelegt sind. Für die anderen Anschlüsse jedoch geringer.

7. Auswertung

Die in den Beispielaufgaben und Vergleichen berechneten Anschlüsse lassen die Schlussfolgerung zu, dass der Nachweis der Grundwerkstoffe nach DIN EN 1993 zu besseren Ergebnissen führt. Diese Tatsache ist auf unterschiedliche Faktoren zurückzuführen. Der Ansatz der plastischen Tragreserven wird im Nachweis der Grundwerkstoffe nach DIN EN 1993, basierend auf der Einteilung in die Querschnittsklassen, favorisiert. Die Einteilung bietet den Vorteil, dass Grenzen der Nachweisführung aufgezeigt werden, die sich aufgrund der Querschnittsabmessungen ergeben. Da die Vergleichsrechnungen auf dem Nachweis elastisch-elastisch nach DIN 18800 eingegrenzt wurden, ohne Ansatz der plastischen Tragreserven, ergeben sich klare Unterschiede in den Beanspruchbarkeiten der Querschnitte. Spannungsnachweise, die im Normenvergleich sehr ähnlich sind setzten elastisches Werkstoffverhalten voraus. Im direkten Vergleich ergeben sich auch für diese Nachweise Auslastungsunterschiede. Die Streckgrenze für Stahl S 235 wird für beide Normen abweichend angegeben. Obwohl DIN EN 1993 eine um 5 N/mm^2 geringe Streckgrenze annimmt, werden beruhend auf den Teilsicherheitsbeiwerten, bessere Auslastungen für den Spannungsnachweis nach DIN EN 1993 ermittelt. Der Teilsicherheitsbeiwert nach DIN 18800 ($\gamma_M=1,1$) ist mit einer 10% Sicherheit angegeben. Diese Sicherheit wird nach DIN EN 1993 für den Nachweis von Querschnitten nicht vorgesehen. Bei der Berechnung der Verbindungsmittel spielen viele

Faktoren zusammen und es werden von Fall zu Fall unterschiedliche Nachweise maßgebend. Es ist festzustellen, dass der Nachweis querkraftbeanspruchter Schweißnähte für beide, nach DIN EN 1993 und das nach DIN 18800 angegebene Verfahren, zu ähnlichen Auslastungen kommen. Für den Nachweis biegebeanspruchter Schweißverbindungen können im Normenvergleich, trotz der unterschiedlichen Annahme der Wirkungsflächen der Schweißnahtspannungen, der abweichenden Angabe der Teilsicherheitsbeiwerte und der voneinander differenten Beanspruchbarkeiten der Schweißnähte, nur sehr kleine Abweichungen ermittelt werden. Für Schraubenverbindungen ist eine pauschale Aussage nicht möglich. In direkten Vergleich kann festgestellt werden, dass durch neue konstruktive Vorgaben der DIN EN 1993 eine größere Gestaltungsfreiheit der Schraubenbilder entsteht. Es wurden SL-Verbindungen (Kategorie A) verglichen, wobei Schraubenverbindungen bei den die Grenzlochleibkräfte maßgebend werden, bessere Ergebnisse nach DIN EN 1993 erzielen. Jedoch für den Nachweis nach DIN 18800 werden für Schraubennachweise maßgebende Grenzscherkräfte besser ausgenutzt.

8. Fazit und Ausblick

Als Fazit der in der Bachelorarbeit berechneten Beispiele und der Vergleichsrechnungen gelenkiger Anschlüsse lässt sich abschließend festhalten, dass eine pauschale Aussage über eine Verbesserung oder Verschlechterung der Ausnutzungsgrade von Anschlüssen nicht verbindlich möglich ist. Die Vergleichsberechnungen haben für Stirnplatten-, Fahnblech- und Doppelwinkelanschlüsse nur geringe Unterschiede in den Beanspruchbarkeiten ergeben. Auffällig im direkten Vergleich zeigen sich die Nachweise für Knaggenanschlüsse, die basierend auf den unterschiedlichen Lastausbreitungsverhältnissen wesentlich höhere Grenztragfähigkeiten für die Berechnung nach DIN 18800 aufweisen. Die Tabellen zum profilorientierten Konstruieren im Stahlbau zeigen, im Vergleich zu den berechneten Beanspruchbarkeiten der gelenkigen Anschlüsse, nur vernachlässigbar kleine Abweichungen. Somit ist für die Praxis eine schnelle Ermittlung der Tragfähigkeiten von Anschlüssen wirtschaftlich möglich.

Im Hinblick auf die Zukunft ist davon auszugehen, dass sich konstruktive Ausführungen und Berechnungsabläufe gelenkiger Anschlüsse nicht beachtlich verändern werden und es ist davon auszugehen, dass sich aufbauend auf der Klassifizierung der Anschlüsse nach DIN EN 1993 die Anschlussklasse der verformbaren Verbindung im Stahlbau etablieren wird.

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb.1 Anschlussmodelle nach Eurocode 3 (11), S.615, Tab.2	7
Abb.2 Klassifizierung von Anschlüssen nach der Steifigkeit (7) S.186, Abb.6.16	8
Abb.3 Verschieblicher Zweigelenkrahmen mit verformbaren Anschlüssen (7) S.186, Abb.6.17	8
Abb.4 Anschlussklassifizierung nach der Tragfähigkeit (12) S.141, Bild K4	9
Abb.5 Darstellung des Federmodell einer Träger-Stützen-Verbindung (12) S.148, Bild K6	10
Abb.6 Grundkomponenten Träger-Stützen-Anschluss (12) S.148, Bild K5	10
Abb.7 Momenten-Verformungs-Verhalten eines Stützenanschluss (7), S. 185, Abb. 6.15	12
Abb.8 Konstruktionsarten gelenkiger Anschlüsse	13
Abb.9 Lage des Gelenks bei gelenkigen Träger-Stützen-Verbindungen (10) S.98, Abb. 3.71	14
Abb.10 Lage des Gelenks bei Fahnablech- und Doppelwinkelanschluss (10) S.106/107, Abb.3.82/3.83	15
Abb.11 Konstruktionsarten „Oberkante bündiger“ Trägerverbindungen (10) S.88, Abb.3.61	15
Abb.12 Konstruktionsvariante mit kurzer Stirnplatte (10), S.98, Bild 3.72	16
Abb.13 Anschluss eines Unterzuges mit langer Stirnplatte (7) S.147, Abb.5.11	16
Abb.14 Verformung der Stirnplatte bei Endtangendrehung der Träger (15) S.308, Bild 8.47	16
Abb.15 Schräge Stirnplattenverbindung (7) S.147, Abb.5.11	17
Abb.16 Schnittgrößen am Doppelwinkelanschluss nach (14) S.154, Abb.154	18
Abb.17 Wirkungsweise der Verbindung zwischen Winkel und Anschlussfläche (14), S. 154/155, Abb.154/155	18
Abb.18 Konstruktionsvarianten von Knaggenanschlüssen (14) S.168, Abb.168	19
Abb.19 Konstruktionsarten von Fahnablechanschlüssen mit „weicher und starrer Anschlussfläche“ (16) S.6/29	20
Abb.20 Darstellung eines Laschen- und Stirnplattenstoß als biegesteife Trägerverbindung(16) S. 6/39	22
Abb.21 Geschraubter Laschenstoß (10) S.74, Bild 3.50	23
Abb.22 Schnittgrößenverteilung nach den Querschnittswerten eines Laschenstoß (16) S.6/42	23
Abb.23 Spannungsnachweis (1) S.49, 6.2.1.5	30
Abb.24 Kehlnahtdicke a (7) S.53 Bild 2.6	37
Abb.25 Schweißnahtspannungen nach Eurocode 3 (10) S.320, Bild 5.22	39
Abb.26 Beanspruchung einer Naht pro Längeneinheit(10) S. 323, Bild 5.24	40
Abb.27 Schweißnahtspannungen in der Anschlussebene einer Kehlnaht (10) S.298, Bild 5.3	41
Abb.28 Mögliche Schnittflächen beim Versagen einer Doppelkehlnaht (10) S. 297, Bild 5.1	41
Abb.29 Versagensarten bei Scher-Lochleibverbindungen (10) S. 208, Bild 4.6	45
Abb.30 Lage der Schrauben,Darstellung der Rand- und Lochabstände (7) S.18, Abb.1.9	49
Abb.31 Beispielhafte Darstellung der Anzahl der Scherflächen DIN 18800 (16) Seite 4.16	54
Abb.32 Schnittgrößen an Schraubengruppen (16) Seite 6.43	56
Abb.33 Schraubenkräfte ermittelt durch das I_p - Verfahren(16) S. 6/43	58

Abb.34	Schraubenkräfte ermittelt durch das f-Verfahren(16) Seite 6/44	58
Abb.35	Blockversagen von Schraubengruppen an Trägerenden und Knotenblechen (2) S.37,Bild 3.8	59
Abb.36	Lasteinleitung in Trägerenden (3) S.53,Bild 16	61
Abb.37	Starre Lasteinleitungslänge (3) S.53,Bild 16	62
Abb.38	Lasteinleitung der Querkräfte Typ (c) (17) S.31,Bild 6.1	63
Abb.39	Länge der starren Lasteinleitung (17) S. 32, Bild 6.2	64
Abb.40	Darstellung möglicher Ausführungsvarianten ausgeklinkter Träger (10) S. 89,Bild 3.62	65
Abb.41	Anschluss Oberkante bündig ohne Ausklinkungen(14) S.175, Abb.175	65
Abb.42	Spannungen im oben geschwächten Querschnitt (10) S.90, Bild 6.63	66
Abb.43	Spannung an der Stelle \perp (14) S. 176,Abb.176	66
Abb.44	Spannungen im geschwächten Querschnitt (10) S.90, Bild 6.63	68
Abb.45	Stirnplattenstoß	84
Abb.46	Stirnplattenstoß Seitenansicht	84
Abb.47	Fahnblechanschluss	95
Abb.48	Doppelwinkelanschluss	106
Abb.49	Ausgeklinkter Träger des Doppelwinkelanschlusses	107
Abb. 50	Knaggenanschluss Seitenansicht	121
Abb.51	Knaggenanschluss	121
Abb. 52	Laschenstoß	129
Abb. 53	Maße Schraubenabstände der Gurtlaschen	133
Abb.54	Lasteinleitung in den Trägersteg der Knaggenanschlüsse im Vergleich	145
Abb.55	Kontaktpressung der Knaggenanschlüsse im Vergleich	146
Abb.56	Nachweis des Grundwerkstoffs der Fahnbleche im Vergleich	147
Abb.57	Schubspannung im Trägersteg neben der Schweißnaht im Vergleich	148
Abb.58	Grenzabscherkräfte der Schrauben im Vergleich	150
Abb.59	Grenzlochleibungskräfte der Schrauben im Vergleich	150
Abb.60	Vergleich der aufnehmbaren Lasten der Stirnplattenanschlüsse mit den Tabellen zum profilorientierten Konstruieren	152
Abb.61	Vergleich der aufnehmbaren Lasten der Doppelwinkelanschlüsse mit den Tabellen zum profilorientierten Konstruieren	154

Tabellenverzeichnis	Seite
Tab.1 Auszug aus Tabelle 6.1 Grundkomponenten der Anschlüsse (2)S.67, Tabelle 6.1	11
Tab.2 Vergleich der Konstruktionsvarianten gelenkiger Anschlüsse	21
Tab.3 Ermittlung der c/t-Verhältnisse (2) S.46, Tab. 5.2	26
Tab.4 Ermittlung der c/t-Verhältnisse (2) S.47, Tab. 5.2	27
Tab.5 Ermittlung der b/t-Verhältnisse (1) S.55, Tab. 12	28
Tab.6 Ermittlung der b/t-Verhältnisse (1) S.55, Tab. 13	29
Tab.7 Charakteristische Werte für Streckgrenze und Zugfestigkeit (1) S. 28 Tab. 1	31
Tab.8 Charakteristische Werte für Streckgrenze und Zugfestigkeit (3) Tabelle 1,S.18	35
Tab.9 Geometrien der Schweißnähte im Vergleich	38
Tab.10 Korrelationsbeiwert (2) S.48, Tabelle 4.1	40
Tab.11 Abminderungswert zur Berücksichtigung der Schweißnahtgüte (3) Seite 88 Tab. 21	42
Tab.12 Gegenüberstellung der Schweißnahtspannungen	42
Tab.13 Gegenüberstellung der Nachweise für Schweißverbindungen	43
Tab.14 Graue Felder laut NA-Anhang zulässig Tab. (2) S. 24, Tab. 3.1	46
Tab.15 Kategorien der Schraubverbindungen (2) Seite 26, Tab. 3.2	46
Tab.16 Nennlochspiel Tab. (9) S.40 Tab.11	47
Tab.17 Rand- und Lochabstände (10) S.242, Tab. 4.18	47
Tab.18 Querschnittswerte der Schrauben (5) S.8.82, Tafel 8.82b	48
Tab.19 Grenzabscherkräfte je Scherfläche (10) S.244, Tab. 4.19	49
Tab.20 Gleichung zur Berechnung der Beiwerte $\alpha_b; k_1$ (7) S.19,Tabelle 1.7	50
Tab.21 Rand- und Lochabstände (10) S.226, Tab.4.8	51
Tab.22 Festigkeiten zulässiger Verbindungsmittel (3) S.20, Tab.2	52
Tab.23 Ermittlung der Grenzabscherkräfte (10) S. 227, Tab.4.9	52
Tab.24 Bestimmungsgleichungen für den Beiwert zur Ermittlung der Lochleibungskraft (5) S.8.73 Tafel 8.73b	53
Tab.25 Rand und Lochabstände im Vergleich	53
Tab.26 Gegenüberstellung der Ermittlung der Grenzabscherkraft	54
Tab.27 Gegenüberstellung der Ermittlung der Grenzlochleibkraft	55
Tab.28 Gegenüberstellung der Ermittlung der Lochschwächung	56
Tab.29 f-Werte (16) Seite 6/44	58
Tab.30 Nettoquerschnittsflächen (4) S. 8.60 Tafel 8.60	60
Tab.31a Auslastungen der Einzelnachweise des Stirnplattenanschluss	91
Tab.31b Auslastungen der Einzelnachweise des Fahnenblechanschluss	105
Tab.31c Auslastungen der Einzelnachweise des Doppelwinkelanschluss	120
Tab.31d Auslastungen der Einzelnachweise des Knaggenanschluss	127
Tab.31e Auslastungen der Einzelnachweise des biegesteifen Laschenanschluss	144
Tab.32 Aufnehmbare Querkkräfte der Trägerstege für Knaggenanschlüsse im Vergleich	146

Tab.33	Aufnehmbare Querkräfte durch Kontaktpressung im Vergleich	146
Tab.35	Aufnehmbare Querkräfte der Fahnbleche im Vergleich	147
Tab.36	Aufnehmbare Querkräfte der Trägerstege neben der Schweißnaht im Vergleich	149
Tab.37	Aufnehmbare Querkräfte der Schweißnähte im Vergleich	149
Tab.38	Aufnehmbare Querkräfte der Schraubenverbindung im Vergleich	151
Tab.39	Aufnehmbare Querkräfte durch Ausreißen des Anschlussbereichs	151
Tab.40	Aufnehmbare Lasten der Stirnplattenanschlüsse im Vergleich zum profilorientierten Konstruieren	152
Tab.41	Aufnehmbare Lasten durch Schubbeanspruchung der Grundwerkstoffe im Vergleich	153
Tab.42	Grenzlochleibungskraft der Schrauben nach DIN 18800	153
Tab.43	Grenzlochleibungskraft der Schrauben nach DIN EN 1993	153
Tab.44	Aufnehmbare Querkräfte für die Kontaktpressung der Doppelwinkelanschlüsse im Vergleich	154
Tab.45	Aufnehmbare Grenzlasten der Doppelwinkelanschlüsse durch die Tabelle zum profilorientierten Konstruieren im Vergleich	154
Tab.46	Berechnete aufnehmbare Querkräfte der Doppelanschlüsse im Vergleich	155
Tab.47	Grenzlochleibungskräfte für SL-Verbindungen (5) Tab S.8.74 /Tafel 8.74	Anhang
Tab.48	Grenzlochleibungskräfte für SL-Verbindungen (5) Tab S.8.75 /Tafel 8.75	Anhang
Tab.59	Grenzlochleibungskräfte für SL-Verbindungen (7) S.363 Tab.12.4	Anhang

Literaturverzeichnis

- (1) DIN Deutsches Institut für Normung e.V. : DIN EN 1993-1-1; Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1 : Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung, Beuth Verlag, Berlin, 2005.
- (2) DIN Deutsches Institut für Normung e.V. : DIN EN 1993-1-8 ; Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8 : Bemessung von Anschlüssen ; Deutsche Fassung , Beuth Verlag, Berlin, 2005.
- (3) DIN Deutsches Institut für Normung e.V. : DIN 18800: Stahlbauten – Teil 1: Bemessung und Konstruktion , Beuth Verlag, Berlin, 2008.
- (4) Goris, A., Schneider ; Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen . 19. Auflage, Werner Verlag,Siegen, 2010.
- (5) Goris, A., Schneider ; Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen . 18. Auflage, Werner Verlag,Siegen, 2008.
- (6) Wagenknecht, G. : Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 1, 4. Auflage, Beuth Verlag Berlin, 2011.
- (7) Wagenknecht, G. : Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 2, 3. Auflage, Beuth Verlag, Berlin, 2011.
- (8) Fritsch, R. /Pasternak, H. : Stahlbau Grundlagen und Tragwerke , Verlag Vieweg & Sohn, Braunschweig /Wiesbaden, 1999.
- (9) DIN Deutsches Institut für Normung e.V. : DIN EN 1090-2 Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken, Deutsche Fassung, Beuth Verlag, Berlin, 2008.

- (10) Kindmann, R. / Strake, M. : Verbindungen im Stahl und Verbundbau, 2 Auflage. Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co.KG,Bochum, 2009.
- (11) Kuhlmann, U. : Stahlbaukalender 2005. Verbindungen, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co.KG, 2005.
- (12) Kuhlmann, U.Stahlbaukalender 2011. Eurocode 3-Grundnorm Verbindungen, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co.KG, 2011.
- (13) Sedlacek, G. / Weynand , K./ Oerder, S. / Hüller , V. : Typisierte Anschlüsse im Stahlhochbau, Stahlbau-Verlagsgesellschaft GmbH, Düsseldorf, 2000.
- (14) Kahlmeyer, E.Stahlbau nach DIN 18800. Bemessung und Konstruktion Träger-Stützen-Verbindungen, 2.Auflage, Werner Verlag GmbH Düsseldorf, 1996.
- (15) Lohse, W. :Stahlbau Teil 1, 24.Auflage, B.G. Teubner Verlag, Stuttgart, 2002.
- (16) Laufs,T. / Werner, F., Schneider L. : Skripte zum Lehrgebiet Grundlagen des Stahlbaus - Teil 1. Hochschule Mittweida, Mittweida 2006.
- (17) DIN Deutsches Institut für Normung e.V. : DIN EN 1993-1-5, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile, Deutsche Fassung, Beuth Verlag, Berlin, 2006.
- (18) Petersen, C. : Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten, 3. Auflage, Verlag Vieweg& Sohn, Braunschweig /Wiesbaden, 1997.

Ehrenwörtliche Erklärung

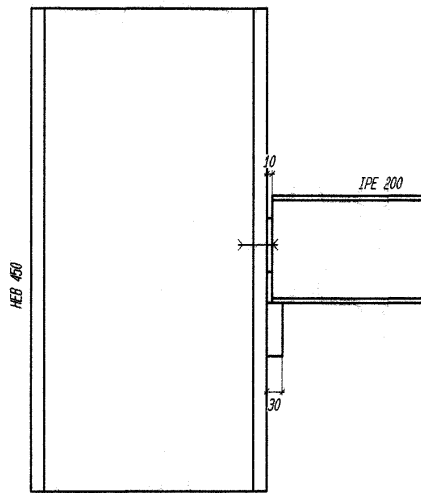
Ich erkläre, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe

Magnus Pfitzner

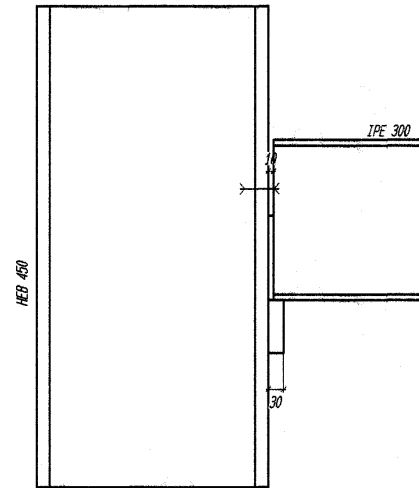
Datum

Anhang

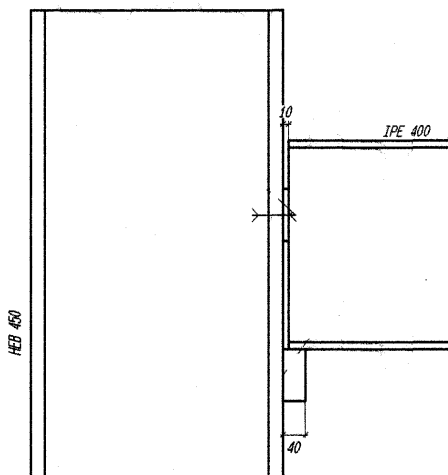
Knaggenanschlüsse:



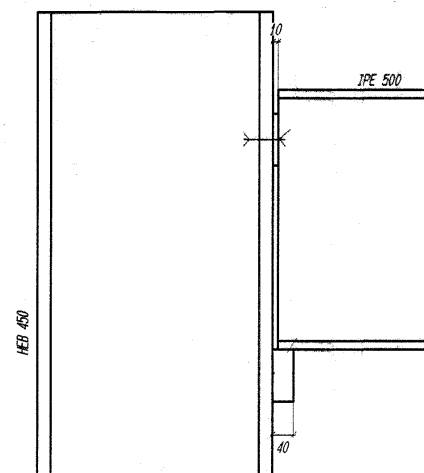
IPE 200



IPE 300



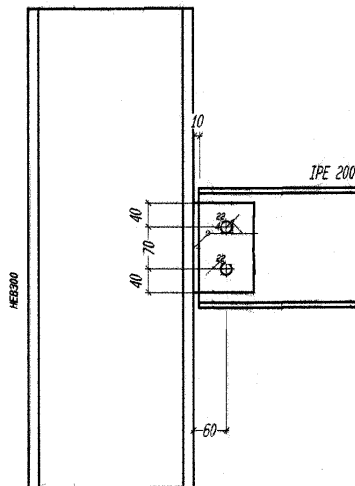
IPE 400



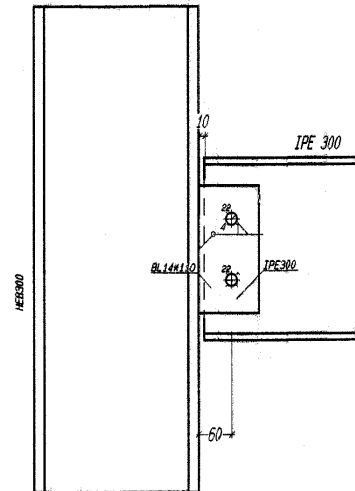
IPE 500

Fahnblechanschlüsse:

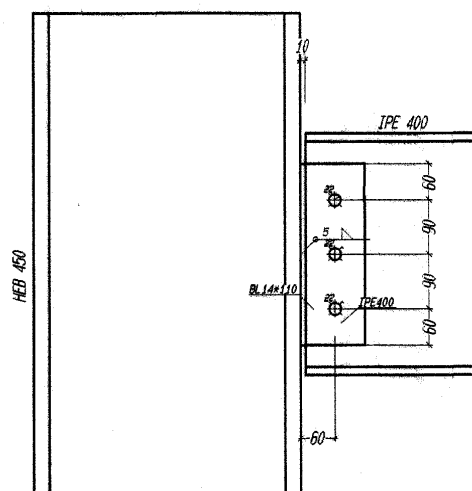
IPE 200



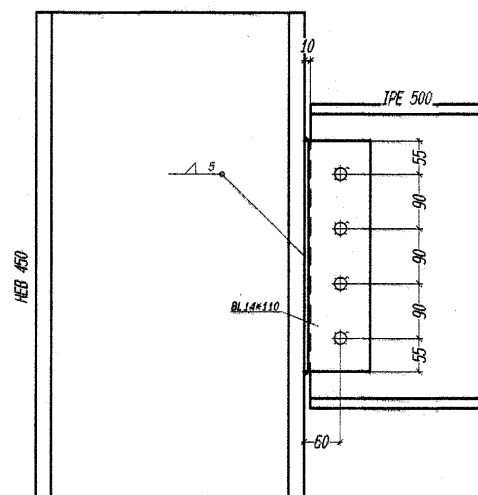
IPE 300



IPE 400



IPE 500



Tabellen Grenzlochleibungskraft:

	Abstand mm	Schrauben (alle Festigkeitsklassen)						
		M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
Nennlochspiel $\Delta d = 2 \text{ mm}$	$e = 30$							
	35							
	40	56,9						
	45	67,4						
	50	77,8	73,5					
	55	88,3	84,2	81,8				
	60	98,8	94,9	92,6	90,2			
	65	105	106	103	101	97,2		
	70	105	116	114	112	108		
	75	↓	127	125	123	119	115	
	80		131	136	134	130	126	
	85		131	144	145	141	137	129
	90		↓	144	155	152	148	140
	95			↓	158	163	159	152
	100				158	174	171	163
	105				↓	177	182	174
	110					177	193	185
	115					↓	197	196
	120						197	207
	125						↓	219
	130							230
	135							236
	$e_1 = 20$							
	25	42,9						
	30	53,5	52,4	51,6				
	35	64,2	63,3	62,6	61,8	60,5		
	40	74,9	74,2	73,6	72,9	71,7	70,4	
	45	85,5	85,1	84,6	84,0	82,9	81,6	
	50	96,2	96,0	95,6	95,1	94,1	92,9	90,1
	55	105	107	107	106	105	104	101
	60	105	118	118	117	116	115	113
	65	↓	129	129	128	128	127	124
	70		131	140	139	139	138	136
	75		131	144	150	150	149	147
	80		↓	144	157	161	160	158
	85			↓	157	172	172	170
	90				↓	177	183	181
	95					177	194	192
	100					↓	196	204
	105						196	215
	110						↓	227
	115							236

Die Tafelwerte sind mit der maßgebenden Bauteildicke $\min \Sigma t$ (in cm) zu multiplizieren. Sie gelten nur, wenn senkrecht zur Krafrichtung die Abstände $e_2 \geq 1,5 d_1$ und $e_3 \geq 3 d_1$ eingehalten werden. Die maximale Beanspruchbarkeit auf Lochleibung ergibt sich bei einem Lochabstand $e = 3,5 d_1$ bzw. einem Randabstand $e_1 = 3 d_1$. Das Zeichen "↓" bedeutet, dass es sich bei dem davor angegebenen Wert um $\max V_{l,R,d}$ handelt, der auch für größere Abstände anzunehmen ist. Für die Stahlsorte S355 können die Tafelwerte mit dem Faktor 1,5 umgerechnet werden.

Tab.47 Grenzlochleibungskräfte für SL-Verbindungen () Tab S.8.74 /Tafel 8.74

Nennlochspiel $\Delta d = 1 \text{ mm}$	Abstand mm	Schrauben (alle Festigkeitsklassen)							
		M 12	M 16	M 20	M 22	M 24	M 27	M 30	M 36
Lochabstand in Kraftrichtung	$e = 30$	45,1							
	35	56,0							
	40	66,8	61,8						
	45	77,7	72,9						
	50	78,8	84,0	78,6					
	55	78,8	95,1	89,8	87,0	84,1			
	60	↓	105	101	98,3	95,4			
	65		105	112	110	107	102		
	70		↓	123	121	118	114	109	
	75			131	132	129	125	121	
	80			131	143	141	136	132	
	85			↓	144	152	148	143	134
	90				144	158	159	155	146
	95				↓	158	170	166	157
	100					↓	177	178	169
	105						177	189	180
	110						↓	197	192
	115							197	203
	120							↓	215
	125								226
	130								236
	135								236
Randabstand in Kraftrichtung	$e_1 = 20$	36,5							
	25	47,5	46,0						
	30	58,6	57,3	55,5	54,5	53,4			
	35	69,7	68,6	66,9	65,9	64,9	63,3		
	40	78,5	79,9	78,3	77,4	76,5	74,9	73,3	
	45	78,5	91,2	89,9	88,9	88,0	86,5	84,9	81,5
	50	↓	102	101	100	99,5	98,0	96,5	93,2
	55		105	113	112	111	110	108	105
	60		105	124	123	123	121	120	117
	65		↓	131	135	134	133	131	128
	70			131	144	146	144	143	140
	75			↓	144	157	156	155	152
	80				↓	157	167	166	163
	85					↓	177	178	175
	90						177	189	187
	95						↓	196	189
	100							196	210
	105							↓	222
	110								233
	115								236

Die Tafelwerte sind mit der maßgebenden Bauteildicke $\min \Sigma t$ (in cm) zu multiplizieren. Sie gelten nur, wenn senkrecht zur Kraftrichtung die Abstände $e_2 \geq 1,5 d_L$ und $e_3 \geq 3 d_L$ eingehalten werden. Die maximale Beanspruchbarkeit auf Lochleibung ergibt sich bei einem Lochabstand $e = 3,5 d_L$ bzw. einem Randabstand $e_1 = 3 d_L$. Das Zeichen "↓" bedeutet, dass es sich bei dem davor angegebenen Wert um $\max V_{l,Rd}$ handelt, der auch für größere Abstände anzunehmen ist. Für die Stahlsorte S355 können die Tafelwerte mit dem Faktor 1,5 umgerechnet werden.

Tab.48 Grenzlochleibungskräfte für SL-Verbindungen () Tab S.8.75 /Tafel 8.75

Δd	p_1 mm	Schraubengröße							
		M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
Loch- abstand p_1	30	44,9							
	35	55,9				↓ bei größeren Abständen gleicher Wert			
	40	67,0	56,5						
	45	78,1	67,2						
	50	86,4	77,9	73,1					
	55	↓	88,5	84,0	81,4				
	60		99,2	94,9	92,4	89,7			
	65		110	106	103	101			
	70		115	117	114	112	103		
	75		↓	128	125	123	113	110	
	80			139	136	134	124	121	
	85			144	147	145	135	132	
	90			↓	158	156	146	142	135
	95				↓	167	157	153	146
	100					173	167	164	157
	105					↓	178	175	168
	110						189	186	179
	115						194	197	190
	120						↓	208	201
	125							216	212
	130							↓	223
	135								234
Δd	e_1 mm	Schraubengröße							
		M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
Rand- abstand e_1	20	44,3							
	25	55,4	53,3						
	30	66,5	64,0	65,5	66,0				
	35	77,5	74,7	76,4	77,0	77,5			
	40	86,4	85,3	87,3	88,0	88,6	86,4	87,3	
	45	↓	96,0	98,2	99,0	99,7	97,2	98,2	
	50		107	109	110	111	108	109	111
	55		115	120	121	122	119	120	122
	60		↓	131	132	133	130	131	133
	65			142	143	144	140	142	144
	70			144	154	155	151	153	155
	75			↓	158	166	162	164	166
	80				↓	173	184	175	177
	85					↓	194	186	188
	90						↓	196	199
	95							207	211
	100							216	222
	105							↓	233
	110								244

Tab.49 Grenzlochleibungskräfte für SL-Verbindungen (7) S.363 Tab.12.4